

Les sols Calfersiques

Jean BOULAINÉ

*Institut National Agronomique
Département des sciences de la terre, 78850 Grignon*

RÉSUMÉ

Le concept de sol Calfersique est proposé pour dénommer un grand ensemble de sols typiques des climats contrastés, et notamment, du climat méditerranéen. Dans ces sols, le fer a abandonné les sites minéraux pour se fixer à la périphérie des argiles. Il confère au sol une couleur rouge, parfois jaune si l'humidité est plus durable. Le calcium est abondant dans l'environnement du sol ou dans les horizons profonds, la silice persiste dans les édifices phylliteux.

Le terme de sol Calfersique recouvre les sols décrits précédemment sous les noms suivants :

- les cinnamonic-brown (Gerassimov)
- les chromic luvisols (F.A.O.)
- les red and yellow soils of mediterranean climate (Bruin)
- les terra rossa et sols rouges méditerranéens
- les sols fersiallitiques (C.P.C.S.)
- les xerolls et xeralfs de la Soil Taxonomy

Les sols Calfersiques sont automorphes, à texture équilibrée, très évolués et très différenciés. L'horizon diagnostic est l'horizon chromique (B) défini comme un horizon très transformé par rapport au matériau originel. Il est riche en argile et en fer, et, en général, non carbonaté ou moins carbonaté que les horizons voisins ou que le matériau primitif. La structure est fragmentaire, bien développée à sec, prismatique à sous-structure polyédrique. Des cutanes d'illuviation peu nombreux et peu épais, sont souvent présents. Il s'agit de pellicules d'arrachement sur les cailloux ou roches encaissantes, de faces de

pression sur les faces des agrégats et, en lames minces, de papules et fragments de cutanes intégrés et plus ou moins bien mélangés à la matière qui prend un aspect chiné.

L'horizon A est nettement isohumique et parfois mollique. La pénétration de l'humus est profonde, dépassant parfois plusieurs décimètres avec des teneurs de l'ordre de 3 à 5 % sous végétation naturelle. Il s'agit d'un humus qui s'accumule rapidement après l'abandon de la culture ou la remise en forêt.

La matière organique est bien humifiée, liée à la matière minérale et donne au sol une structure grumeleuse à nuciforme qui devient polyédrique pour les sols cultivés depuis longtemps, ou massive dans les sols sableux.

L'horizon A₂ existe parfois, mais uniquement dans les matériaux sableux. Il s'agit d'un horizon de distance entre un A₁ peu épais et l'horizon B.

Des horizons d'accumulation du calcaire K₁, K₂, K₃, sont parfois très fréquents dans ces sols.

L'auteur propose enfin une classification des sols Calfersiques.

ABSTRACT

The concept of Calfersic soil is offered to name a comprehensive scope of soils typical of the contrasted climates, and especially of the Mediterranean climate. In these soils, iron has left the mineral sites to settle around the surface of clays. It gives to the soil a red, sometimes yellow colour, if moisture

is more durable. Calcium is plentiful in the soil environment or in the deep horizons, silica remains in the phyllitic build-up.

The terminology of Calfersic soil encompasses the above described soils under the hereunder names:

- *cinnamonic-brown (Gerassimov)*
- *chromic luvisols (F.A.O.)*
- *red and yellow soils of Mediterranean climate (Bruin)*
- *fersiallitic soils (C.P.C.S., France)*
- *xerolls and xeralf of the Soil Taxonomy*

The Calfersic soils are automorphic soils with a balanced texture. They are much advanced and differentiated. The diagnostic horizon is the chromic horizon (B) defined as a much transformed horizon with respect to the original material. It abounds in clay and iron, and, generally non carbonated or less carbonated than the neighbouring horizons of than the parent material. The structure is fragmentary, well developed in dry conditions, it is prismatic with polyedric sub-structure.

Illuvial Cutans few and little thick, are often shown. They are tear-up films over the pebbles or enveloping rocks or slickensides on the aggregate faces and more or less mixed with the matter which take a "chiné" look.

The A horizon is definitely isohumic and at times mollic. Humus is penetrated in depth, sometimes over several decimeters with contents of 3 to 5 % under the natural vegetation. It's an humus which builds rapidly once culture is abandoned or forest is grown again.

The organic matter is well humified, attached to the mineral matter and gives to the soil a friable structure with nuciforme which turns polyedric in the case of long cultivated soils, or gives a bulky structure with sandy soils.

The A₂ horizon shows sometimes, but only with sandy material. It is a distance horizon between a little thick A₁ and the (B) horizon.

K₁, K₂, K₃ limestone build-up horizons are at times most found in these soils.

The author offers at last, a classification of the Calfersic soils.

AVERTISSEMENT

L'auteur étudie depuis près de trente ans les sols des régions méditerranéennes. Dans les zones à bon drainage interne, on y trouve, pour peu que le temps ait fait son œuvre pédogénétique, des sols colorés soit avec les nuances du rouge, soit avec plus rarement celles du jaune. C'est ainsi qu'on a parlé de sols rouge, marron, châtain, brun, etc.

L'Auteur propose un regroupement de tous ces sols dans une nouvelle classe : la classe des sols Calfersiques.

INTRODUCTION

Cette unité est présentée à titre provisoire et expérimental pour regrouper :

- les cinnamonic-brown (= sols marrons) des russes (Gerassimov) ;
- les chromic luvisols (F.A.O.) ;
- les sols marrons de la classification française (3^e sous-classe de la classe des isohumiques) ;
- les red and yellow soils of mediterranean climate (Bruin) ;
- les sols châtain et châtain-rouges bruns et brun-rouges de l'ancienne classification française, et de certains auteurs australiens ;
- les terra rossa et sols rouges méditerranéens ;
- les sols fersiallitiques (1^{re} sous-classe des sols à sesquioxides de la classification française) ;
- les xerolls et xeralfs de la Soil Taxonomy.

Le concept de sol Calfersique correspond aux sols évolués, à bon drainage interne, des régions à climats xérotérique et xérochiménique chauds (classification Gaussen).

Sous ce concept, nous regroupons donc des sols appartenant à des catégories différentes des classifications auxquelles nous nous référons habituellement. Ils ont en commun une évolution et une organisation très développées et ils prennent naissance sous des climats contrastés à longue saison sèche alternant avec des saisons humides à températures parfois fraîches, mais où la moyenne mensuelle est supérieure à 10 °C.

Le fer, dans ces sols âgés dont l'ambiance est oxydante et fréquemment confinée, a abandonné peu à peu les sites intra-minéraux où il se trouvait dans la roche-mère pour se fixer à la périphérie des argiles : il confère alors souvent une belle teinte

rouge au sol, notamment à l'horizon B. Dans certains cas, liés le plus souvent à une certaine permanence de l'humidité à la fin de la saison humide, un ou plusieurs horizons du sol ont une teinte jaune ou brune, très différente de celle du matériau primitif.

Le *calcium* est abondant dans l'environnement du sol ou dans les horizons profonds et le matériau sous-jacent, sous forme de réserve assez soluble : carbonates, sulfates, minéraux calciques.

Très souvent, les horizons supérieurs ont perdu leur réserve de ces composés relativement solubles, mais le complexe et la solution du sol sont bien pourvus en calcium, au moins en certaines saisons. Les remontées biologiques contribuent à maintenir cette ambiance calcique. Beaucoup de sols Calfersiques ont en plus des horizons carbonatés, c'est-à-dire des horizons d'accumulation des carbonates.

La *silice* semble connaître une certaine dynamique. Les eaux issues des zones à sols Calfersiques n'en sont pas dépourvues. Mais les argiles du sol restent bisiallitiques au moins en partie. Des silicifications secondaires ont été signalées, çà et là, dans certains de ces sols. Bref, la silice y connaît probablement des phases de solubilisation et de précipitation, ce qui est cohérent avec des régimes hydriques très contrastés.

La *matière organique* a une répartition de type isohumique avec des vitesses de décomposition et d'accumulation élevées. Elle est très saturée et la végétation qui la fournit est aussi bien annuelle qu'arbustive (forêts plus ou moins claires à arbustes et buissons).

A. LE CONCEPT : SES LIMITES, SES VARIANTES MAJEURES

1. Terminologie classique

On connaît, tout autour de la Méditerranée, mais aussi au Mexique, en Australie, sur le piémont de l'Himalaya, etc., des sols profonds, pauvres en humus quand ils sont cultivés, mais où l'humus est distribué sur une forte épaisseur, calcaires ou appauvris en calcaire en surface, tandis que les nodules calcaires ou des horizons de calcaire pulvérulent existent en profondeur, de couleur brun ou châtain, mais souvent tirant sur le rouge.

On a pensé que ces sols pouvaient être assimilés aux sols steppiques de climat froid et les auteurs

marocains, notamment G. Bryssine et Jaminet (1950) les ont décrits sous le nom de sols châtaîns ou bruns (castanozem et burozem). Mais on a constaté que certains caractères de lessivage du calcaire, de couleur (plus rouge), d'existence d'un horizon plus argileux sub-superficiel, de teneur plus faible en humus, différenciaient ces sols des sols steppiques classiques de climat froid (Ukraine). On a alors parlé de sols *brun-rouge* ou *châtain-rouge*. Ces dénominations ont été aussi employées par certains auteurs anglo-saxons dans les années 1950, notamment en Australie.

En fait, les sols bruns et châtaîns, brun-rouge et châtain-rouge, sont très souvent associés étroitement et il est difficile de mettre en évidence une action du climat pour expliquer ces différences. D'autre part, la végétation qui devait recouvrir ces sols avant l'arrivée de l'Homme était probablement une végétation à dominante forestière.

Enfin, on est bien obligé d'accepter que le climat actuel, comme d'ailleurs les climats des périodes du Quaternaire pendant laquelle les plus anciens de ces sols ont évolué, est un climat très différent de celui de la steppe russe.

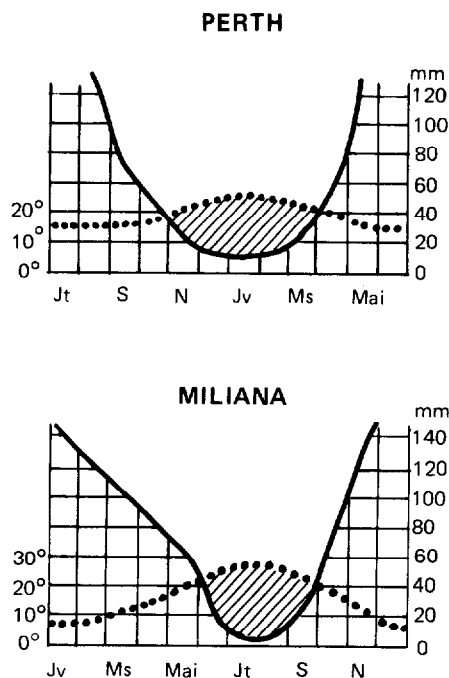


Fig. 1. — Climats typiques des zones à sols Calfersiques : Perth (Australie), Miliana (Algérie).

Depuis 1960, les auteurs de la 7^e approximation ont tenté d'intégrer ces sols à différents niveaux, et notamment dans les Alfisols, s'il y avait un horizon argillique pour le justifier (Rhodoxeralfs), mais aussi dans les mollisols (xerols), ou même, les aridisols si la couleur est claire (xerids).

La F.A.O. (voir cependant J.H.S. Bruin, 1970) n'a pas créé ou pas pu faire une place à part pour ces sols pourtant très typiques des régions à climat contrasté. Ils apparaissent sous les noms de castanozem ou avec les luvisols (chromic luvisols), ou même avec les planosols.

Il faut noter qu'aussi bien pour la Soil Taxonomy que pour la F.A.O., aucune place n'a été faite, à un niveau élevé, à l'ensemble des sols très différenciés, très évolués, très colorés, des zones bien drainées et sur roches ni trop argileuses, ni trop sableuses, ni trop acides, des régions à climat chaud contrasté dont la zone méditerranéenne est le type le plus connu.

Il n'en est pas de même pour d'autres classifications. Les pédologues russes quant à eux, disent depuis longtemps que, sous les climats méditerranéens semi-arides et sub-humides, le type de sol automorphe n'est pas le castanozem ou le burozem, mais au contraire, le sol « marron ». D'après I.P. Gerassimov (1954), c'est en 1924 que S.A. Zakharov propose d'appeler « sols marrons forestiers » certains sols de la partie orientale de la Transcaucasie.

Ce concept, correspondant à des sols très riches en matière organique, compacts, argileux, ayant une bonne structure et des accumulations de carbonates, a été repris par Sabachvili en 1948, en Georgie, par Gerassimov en 1946 au Caucase et en Crimée mais aussi en 1939 par Matoussevitch dans le Kazakhstan, et en 1930 par Rozanov dans le Tadjikistan, etc. Les principaux caractères de ce sol marron sont les suivants :

- (1) Réaction neutre et faiblement alcaline des couches supérieures.
- (2) Répartition profonde de l'humus, c'est-à-dire présence d'une forte couche d'humus foncé ; cependant, la teneur en humus y varie considérablement, ce qui permet de différencier les sols marrons en foncé (riches en humus) et clairs.
- (3) La présence, à une profondeur déterminée, mais différente pour les différentes variétés de sols marrons, d'une couche illuviale carbonatée (située dans les sols marrons carbonatés dans la couche d'humus, dans les sols types dans la partie inférieure sous-

jacente, dans les sols lessivés, à une grande profondeur, plus bas que la couche d'humus).

(4) L'argilisation nettement exprimée de la masse du sol particulièrement des couches moyennes et basses avec une teneur élevée en particules de limons et d'argiles ; en raison de l'argilisation, les sols marrons ont une haute compacité et une structure en mottes caractéristique.

(5) Une haute capacité d'absorption liée à une haute teneur en argile de la masse du sol ; la prépondérance d'ions calcium et magnésium dans la composition des bases échangeables.

(6) Un rapport moléculaire relativement bas de $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ et $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ et n'indiquant pas une migration considérable des hydrates d'oxydes Al et Fe dans ses limites (d'après une traduction russe, 1954).

Au cours d'une visite de l'Afrique du Nord, et notamment, de l'Algérie en 1952, I.P. Gerassimov lui-même a confirmé l'appartenance à ce type de sol de la grande majorité des sols rouges, châtaîns, bruns, que nous lui présentions. Son collaborateur, Guernoug, dans un ouvrage sur la Géographie de l'Algérie (qui n'a malheureusement pas été traduit), a donné les détails de ces diagnostics.

La classification française (C.P.C.S., 1967) a repris cette idée et a créé deux sous-classes des sols isohumiques pour placer une bonne partie de ces sols.

EXTRAIT DE LA CLASSIFICATION FRANÇAISE DES SOLS C.P.C.S. 1967

VI.3. Sous-classe des sols isohumiques à pedoclimat frais pendant la saison pluvieuse

Groupe VI/31	Groupe des sols marrons
Sous-groupe 311	Sous-groupe de sol marron modal
Sous-groupe 312	Sol marron rubéfié
Sous-groupe 313	Sol marron à B textural
Sous-groupe 314	Sol marron encroûté (à croûte calcaire)
Sous-groupe 315	Sol marron à pseudogley
Sous-groupe 316	Sol marron vertique
Sous-groupe 317	Sol marron faiblement salé ou alcalisé
Groupe VI/32	Groupe des Sierozem
Sous-groupe 321	Modal
Sous-groupe 322	Encroûté (à croûte gypseuse)
Sous-groupe 323	A pseudogley
Sous-groupe 324	Vertique en profondeur
Sous-groupe 325	Faiblement salé ou alcalisé

VI.4. Sous-classe des sols isohumiques à pedoclimat à température élevée en période pluvieuse

Groupe VI/41	Groupe des sols bruns arides
Sous-groupe 411	Brun sub-aride modal
Sous-groupe 412	Brun rouge sub-aride
Sous-groupe 413	Brun sub-aride à pseudogley
Sous-groupe 414	Brun sub-aride vertique
Sous-groupe 415	Brun sub-aride faiblement salé ou alcalisé.

A l'usage, il ne semble pas que cette solution au problème de la définition et de la classification de ces sols soit satisfaisante.

En effet, le terme « sol marron » y est employé au niveau du groupe alors que dans la littérature russe, il est à un niveau hiérarchique supérieur (sous-classe ou même classe). D'autre part, les catégories proposées ne permettent pas de séparer assez nettement les sols très évolués à horizon B textural de ceux, moins évolués, à horizon cambique qui ont été et sont encore distingués par de nombreux auteurs parce que c'est une évidence du terrain (= sols châtaîns et sols bruns du Maroc - sols rouges lessivés et sols rouges à décalcification incomplète de J. Boulaine, 1957).

Pour inventorier les équivalents des sols dont nous parlons dans la classification française, il faut ajouter les sols fersiallitiques (anciens sols rouges méditerranéens) qui constituent une sous-classe de la classe des sols à sesquioxides.

Dans notre conception, il faudrait donc regrouper ces trois sous-classes en une nouvelle classe de *Sols Calfersiques* et faire des sols ferrugineux tropicaux une classe spéciale.

2. Contenu et limites du concept

Les sols Calfersiques tels que nous les concevons pour définir et classer un grand ensemble de sols qui nous semblent mal perçus par les systèmes précédemment rappelés, ont les caractères et les limites suivantes :

(1) Ce sont des sols *automorphes*, c'est-à-dire qu'ils n'ont aucun caractère majeur dû à un engorgement quelconque du profil ou d'un de ses horizons, si ce n'est très secondairement.

(2) En général, ce sont les matériaux à *texture équilibrée* qui donnent des sols Calfersiques dans toute l'étendue du domaine. Certains peuvent être sableux, notamment dans les marges sèches de leur

domaine. Vers les marges humides, les sols très filtrants ou acides peuvent facilement passer à des sols lessivés plus ou moins podzoliques.

Par contre, les matériaux argileux donnent en général des vertisols ou des sols calciques mélanisés dans l'ensemble du domaine des Calfersiques.

(3) Ce sont des sols *très évolués* par rapport à la roche-mère, et *très différenciés*. Le profil comporte plusieurs horizons et ceux-ci peuvent être différents du matériau originel (horizons décarbonatés et argilisés — horizons carbonatés plus ou moins encroûtés, horizons très colorés, donc à oxydes de fer figurés, etc.).

En même temps, ce sont des sols « mûrs », c'est-à-dire ayant évolué pendant un temps suffisant pour que les caractères précédents apparaissent et en même temps, des sols qui sont suffisamment développés, épais, et possédant un complexe absorbant et une capacité de rétention telle que leur régime hydrique corrige dans une large proportion les variations climatiques. Sur le plan chimique et hydrique, ce sont des sols *tamponnés*.

Mais on trouve naturellement des types encore assez peu évolués : les juvétypes, qui n'ont pas encore tous les caractères des orthotypes et des sols ultra-évolués : les gérotypes, ainsi que des sols érodés : les glyptotypes.

Les terrasses des rivières, notamment en Afrique du Nord, dont les sols ont des âges croissants avec l'altitude relative de la terrasse (ou l'ancienneté du niveau), sont de bons sites pour étudier cette succession.

(4) Mais, comme le domaine des sols *Calfersiques* est assez vaste et comporte notamment des différences de précipitations moyennes annuelles notables (300 mm \pm 100 pour les marges sèches, 900 \pm 200 pour les marges humides, plus encore pour les sols rouges), *l'orthotype d'une zone sèche peut être le juvétype d'une zone humide*. Par exemple, aux frontières sèches du domaine, dans le Sersou algérien, il semble bien que les sols Calfersiques normaux soient encore calcaires. Dès que les pluies sont plus fréquentes et plus intenses, l'orthotype n'est plus calcaire.

Mais comme il s'agit en outre de sols âgés, la succession de phases climatiques plus sèches et plus humides au cours du Quaternaire peut en outre faire que des sols ayant des *caractères hérités* d'une période plus humide existent à l'intérieur d'une zone actuellement plus sèche. Le contraire n'est vrai

qu'au début d'une période humide, mais les conditions d'une permanence de caractères hérités d'une période sèche n'existent pas, puisque la période est justement plus humide que la précédente.

TERMINOLOGIE : nous utiliserons les mots suivants dans un sens précis.

Calcaire - adjectif qualifiant un horizon et indiquant la présence de carbonates sans préjuger de leur origine, notamment s'il s'agit de calcaire primaire.

Carbonaté - adjectif qualifiant un horizon et indiquant la présence de *carbonates secondaires*, redistribués soit dans l'horizon, soit dans le profil.

Calcique - complexe absorbant saturé, avec une proportion élevée de calcium.

B. LES HORIZONS DES SOLS CALFERSIQUES

Classiquement, la classification de ces sols a été faite en tenant compte surtout des horizons de surface ou de sub-surface, en particulier de leurs caractères de structure et de la répartition de la matière organique.

1. Les problèmes des horizons calcaires

Dès 1965, L.H. Gile, F.F. Peterson et R.B. Grossman (*Soil Science*, vol. 99, n° 2, février 1965, pp. 74-82 : the K horizon : a master soil horizon of carbonate accumulation) ont proposé d'utiliser pour décrire les sols de ces régions contenant des horizons d'accumulation du calcaire, la notation d'horizon K.

Il faut souligner que des réticences, d'ailleurs mal expliquées, ont été exprimées contre la prise en considération des horizons K, notamment pour la classification. Elle nous semble au contraire particulièrement justifiée, ne serait-ce que parce que le CO_2 qu'ils stockent grâce au calcium, est un des éléments les plus originaux et des plus caractéristiques du sol : le CO_3Ca est le seul « sel » d'origine biologique avec les nitrates.

D'autre part, la chimie des solutions carboniques est particulière (cf. Allègre et Michard, introduction à la Géochimie).

Rappelons que Gile et ses collaborateurs distinguent :

- K_1 - horizon de transition entre A ou un B et un horizon K_2 ou K_{2m} et contenant 50 % ou plus de K-fabrics. Les horizons K_1 n'existent pas dans de nombreux sols ayant un horizon K_2 .
- K_2 - L'horizon K_2 est la partie la plus importante, la plus durcie et la plus blanche de l'ensemble des horizons K, et contient généralement la plus forte proportion de carbonates authigènes. Les horizons K_2 durcis sont désignés par K_{2m} . Un ou plusieurs sous-horizons durcis laminaires peuvent se trouver au sommet d'un horizon K_{2m} massif en blocs ou en dalle.
- K_3 - Horizon de transition d'un K_2 ou K_{2m} à un horizon sous-jacent CCa, C, paléosol ou roche-mère, l'horizon K_3 se trouve dans la plupart des sols ayant des horizons K_2 .

Les horizons K_2 correspondent à ce que j'ai appelé les horizons d'accumulation calcaire homogène (K_{2m} quand il y a consolidation) et K_3 correspond aux horizons à nodules, concrétions et amas de calcaire pulvérulents, situés presque toujours sous les horizons homogènes. L'horizon K_1 , plus rare lorsque K_2 existe, peut, la plupart du temps, être interprété alors comme une dégradation de celui-ci. Si K_2 est absent, on peut considérer qu'on a K_1 sur K_3 pour l'ensemble à amas différenciés.

Le K_2 constitue, une fois consolidé en K_{2m} , la « croûte calcaire » et les sous-horizons durcis correspondant aux différentes formes de « croûte zonale ». « Croûte rubanée » et « dalle calcaire » décrites par de nombreux auteurs.

Ceci rappelé, faut-il introduire cette notion d'horizon K dans la classification des sols de régions à saison sèche marquée ?

Une première difficulté vient du fait que, sur certaines roches-mères peu ou pas calcaires, ces horizons vont être absents ou réduits à des horizons de nodules dans lesquels la proportion de « calcaire » sera assez faible. C'est probablement ce qui a motivé, dans le passé, une classification basée sur les caractères des horizons A et B.

Par contre, l'horizon K traduit dans les sols formés sur roche-mère calcaire ou simplement calcique, un bilan général en rapport avec la perméabilité ou le climat qui me semble très important au point de vue pédologique. En agronomie appliquée, l'existence d'un horizon K_2 est aussi très important.

D'où une première option à prendre : diviser ou non les Fercalsiques en sols à horizons K et sols sans horizons K (dans lesquels il pourrait y avoir

des nodules calcaires, car après la définition du K, il faut au moins de 15 à 40 % de « calcaire » authigène).

Il semble que le fait que ces horizons calcaires n'aient pas été pris en considération jusqu'ici vient de ce que les premiers sols « steppiques » ont été étudiés en zone froide (Ukraine) et que des habitudes ont été prises, que l'on a essayé de conserver envers et contre tout dans les régions à climat plus chaud.

Au total, l'importance des horizons carbonatés est telle, et ils sont tellement caractéristiques dans les régions à climats contrastés, qu'il nous semble essentiel d'en tenir compte dans la classification. Mais leur signification génétique nous paraît moindre que celle du développement plus ou moins grand de l'horizon B. Aussi, ne les ferons-nous apparaître dans la classification qu'au niveau du groupe ou du sous-groupe.

2. Les horizons |B| chromiques

Précisons tout de suite que ces horizons sont en général situés sous des horizons A, mais qu'il existe des cas où ils sont situés en surface (donc A est absent), soit que A soit érodé, soit que B connaisse des pressions analogues à celles qui existent dans les vertisols, par gonflement et qu'il y ait mélange avec un A très mince par ailleurs.

Le caractère dominant est la forme du fer. D'après M. Lamouroux (1971), le fer est sous forme de sesquioxides non indurés et fixés sur la surface des minéraux argileux. L.-M. Bresson pense que la couleur rouge est en relations avec des cristallites de goethite de très faibles dimensions, alors que la couleur jaune serait liée à un meilleur développement des cristaux lié probablement à une faible vitesse de déshydratation alors que la couleur rouge serait liée à une vitesse élevée de la déshydratation au moment de la saison sèche.

Pour L.-M. Bresson, la rubéfaction est distincte de la décarbonatation, car la matrice des sols qu'il étudie n'est pas rouge. Ce n'est que peu à peu, au fur et à mesure que le lessivage intervient, que les horizons B prennent la couleur rouge. Celle-ci provient de la forme des liaisons fer-argile, qui prennent naissance dans l'horizon superficiel et les particules colorées *migrent ensuite*. Elles s'intègrent à la matrice des horizons B par suite des mouvements propres de cet horizon et ne restent pas à l'état de revêtements. « La rubéfaction est donc un processus

« pédologique, essentiellement lié à l'argile, se produisant en surface, elle gagne tout le profil par « illuviation ».

Pour d'autres auteurs (Ph. Duchaufour), il s'agirait plutôt d'un degré d'hydratation des hydroxydes de fer liés aux argiles : $1/2 \text{ H}_2\text{O}$ pour les formes rouges, $2 \text{ H}_2\text{O}$ pour les jaunes.

Il ne semble pas que génétiquement, la différence soit très grande. La couleur rouge est liée à des milieux plus secs, le jaune à des milieux plus humides. Lorsque les deux couleurs coexistent, l'horizon jaune est situé sous l'horizon rouge et correspond bien à des conditions d'hydratation plus longues dans le temps et moins contrastées. La répartition climatique des sols jaunes et des sols rouges confirme cette condition.

Dans les sols les plus développés (Argicalfersiques), cet horizon |B| a des caractères très marqués, notamment l'évidence de l'augmentation du taux d'argile par rapport à l'horizon A : parfois, la teneur en argile est le double ou plus de la teneur des horizons A (de 25 % à 60 % n'est pas rare. Souvent, on a des valeurs de 30 % à 50 %).

Les explications concernant l'existence de cet horizon riche en argile ne paraissent pas satisfaisantes. S'agit-il, comme le propose I.P. Gerassimov, d'un horizon « métamorphique » dû à l'existence dans le sol d'une zone où l'humidité étant plus permanente, l'altération est plus poussée ? S'agit-il d'un lessivage de l'argile du A ? S'agit-il d'une action biologique ? S'agit-il d'un appauvrissement du A en éléments fins soit par érosion éolienne, soit par ruissellements internes (1) ?

Le fait d'observation est que cet horizon existe dans beaucoup de cas et que la classification doit en tenir compte.

L'analyse micromorphologique montre une allure « chinée » de la matrice et de minces clay-skins assez rares.

Par ailleurs, les faces des agrégats sont souvent luisantes et on sait que les montmorillonites sont en proportion importante. Les alternances de gonflement et de dessèchement ont donc la possibilité d'intégrer peu à peu les cutanes d'argile à la matrice

(1) Il est aussi possible que, les carbonates remplaçant et même « épigénisant » les silicates dans la zone où ils s'accumulent, les éléments de ces silicates remontent, par voie biologique, à la surface du sol pour se recombinaison en argiles secondaires.

pratiquement au fur et à mesure qu'ils se forment. Ce *dynamisme* des horizons [B], qui reste encore un peu à l'état d'hypothèse, expliquerait à la fois la faible quantité de cutanes et le caractère argillique parfois très fortement exprimé sur le plan granulométrique.

La structure de l'horizon [B] est nettement exprimée : prismatique à sous-structure polyédrique avec parfois une tendance cubique. La fissuration est très nette à la fin de la saison sèche et encore visible pendant la période humide.

Quand le développement du sol reste discret (climat plus sec, durée d'évolution plus courte, matériau moins favorable), cet horizon [B] peut avoir des caractères moins affirmés. La teneur en argile reste proche de celle de l'horizon A, la couleur est moins intense, la structure moins développée (notamment la sur-structure prismatique), les faces moins luisantes, etc. L'horizon B a alors des caractères cambiques.

Outre les sols à horizon [B] argillique et, *par convention*, on classera dans les Calfersiques les seuls sols ayant un horizon [B] cambique et un horizon K.

HORIZON CHROMIQUE [B]

Le terme vient de la légende F.A.O. (1973) qui utilise « chromic luvisol » pour une grande partie des sols « rouges » ou « marrons » des régions méditerranéennes.

Le symbole [B] indique qu'il s'agit en général d'horizon B, mais que l'horizon peut être aussi en position de surface et que, d'autre part, la nature de l'argile et de ses liaisons avec le fer sont particulières.

Définition

Horizon très transformé par rapport au matériau originel, et notamment riche en argile et en fer. En général, non carbonaté ou moins carbonaté que les horizons voisins ou que le matériau primitif. La structure est fragmentaire, bien développée (notation 2 ou 3) à sec, prismatique à sous-structure polyédrique. Cutanes d'illuviation peu nombreux et peu épais, mais souvent présents. Trace de dynamisme au moins au niveau de l'horizon. Il s'agit notamment, de pellicules d'arrachement sur les cailloux ou roches encaissantes, de faces de pression sur les faces des agrégats et, en lames minces, de papules

et fragments de cutanes intégrés et plus ou moins bien mélangés à la matière qui prend un aspect chiné. L'horizon [B] peut occuper dans le volume les positions suivantes :

— En surface : après érosion ou par suite de mouvements vertiques (*cf.* Lamouroux et légende F.A.O.), il peut être alors infiltré de matière organique. Il s'agit alors d'un [B]A₁.

— Sous-jacent à un horizon A₁, (A₁, [B]), il a alors souvent les caractères granulométriques d'un horizon argillique.

— Sous-jacent à un ensemble A₁A₂ il est alors très nettement enrichi en argile par rapport à ces horizons.

— L'horizon [B] peut être en contact direct avec le substrat rocheux. Il faut alors que ses caractères soient très développés ([B] argillique).

— L'horizon [B] peut être suivi d'horizons d'accumulation des carbonates (K₁ ou K₂) ; il peut alors être moins développé ([B] cambique).

— La partie supérieure du [B] et la base du A₂, s'il existe, peuvent avoir des caractères hydromorphes : nodules ferrugineux ou concrétions, taches noires sur les faces des agrégats, mais il s'agit d'une hydromorphie secondaire.

3. L'horizon A

L'horizon A est nettement isohumique et parfois mollique. La pénétration de l'humus est profonde, dépassant parfois plusieurs décimètres avec des teneurs de l'ordre de 3 à 5% sous végétation naturelle. Il s'agit d'un humus qui s'accumule rapidement après l'abandon de la culture, par exemple, ou la remise en forêt.

Le défrichement et la longue culture des céréales amène une diminution du stock organique et un éclaircissement de la couleur du sol (steppisation des pédologues marocains). La matière organique est bien humifiée, liée à la matière minérale en un mull calcique qui donne au sol une structure grumeleuse à nuciforme qui devient polyédrique pour les sols cultivés depuis longtemps, ou massive dans les sols sableux.

L'horizon A₂ existe parfois, mais uniquement dans les matériaux sableux. Il s'agit plus d'un horizon de distance entre un A₁ peu épais et un [B] profond plus que d'un horizon dégradé. Mais cet A₂ est éluvié, notamment en argile comme d'ailleurs le A₁ qui le surmonte.

Parfois (Doukkalas au Maroc), la limite horizontale est très marquée entre le A et l'horizon [B]. Ces sols ont été classés comme planosols par certains. Les A étant d'ailleurs très sableux.

Ces horizons A peuvent souvent présenter des caractères de remaniement (éolien, hydrique, etc.), ou d'appauvrissement. Ils peuvent en particulier être associés à une couverture cailouteuse parfois très dense, notamment si le matériau est une ancienne terrasse alluviale (piémont du Deurdeur dans le Chélif. Rehamnas à Marrakech, etc.).

C. CHRONOSÉQUENCE DU CHÉLIF

Les terrasses alluviales de la vallée du Chélif en Algérie centrale permettent l'étude de l'évolution des sols en fonction du temps. Le matériau, bien que de composition granulométrique variable, est assez constant du point de vue chimique avec 30 % de calcaire, 30 % d'argile (ou d'argile potentielle) et 40 % de quartz plus ou moins fins et de minéraux stables. Les niveaux de terrasses s'étagent entre l'actuel et l'équivalent continental du Tyrrhénien marin (Tensiftien des auteurs marocains). C'est la partie amont de la vallée à l'est d'Orléansville qui est la plus intéressante à étudier (J. Boulaine, 1957). Le climat comporte 550 mm de précipitations annuelles avec 17°C de température moyenne annuelle, et naturellement, une saison sèche très marquée durant l'été.

Cinq grands niveaux de terrasses ont été mis en évidence, auxquels sont associés des sols de plus en plus évolués.

Le niveau I correspond aux apports sub-actuels et ne présente aucune différenciation des profils.

Le niveau II correspond au Rharbien marocain ; il est, dans l'ensemble, post-würmien. Les dépôts les plus récents sont à peine évolués, mais dans certaines portions des plaines, il y a encore en surface des alluvions qui ont été déposées il y a quelques millénaires. On trouve parfois des nodules calcaires dans les horizons profonds de ces sols limoneux et une étude statistique sur 40 profils a montré que la majorité des horizons avaient une teneur en calcaire de 24 à 27 % de 0 à 40 cm, et de 30 à 33 % de 120 à 200 cm. La distribution des éléments grossiers étant la même dans tous les horizons, on peut en déduire que 3 à 4 % de CO_3Ca

ont été transférés sous le climat actuel en quelques millénaires de la surface du sol vers un mètre cinquante, ce qui n'a rien d'étonnant d'ailleurs.

Cette différenciation du profil calcaire devient indiscutable sur les sols du niveau III, assimilables au Soltanien marocain, les teneurs deviennent en gros 10 % et 40 % respectivement pour les horizons de surface et les horizons profonds dans lesquels en outre, les pseudomycéliums et les amas de carbonates sont observables à l'œil nu.

Enfin, dans les niveaux IV et V, les sols non érodés sont complètement décalcarisés en surface et carbonatés en profondeur, avec des accumulations de carbonates tantôt en amas et nodules, tantôt en encroûtements et croûtes plus ou moins durcis. Plus de 100 000 hectares cartographiés au 1/50 000 ont été prospectés et montrent constamment les mêmes relations réciproques avec des petits décalages dus aux gradients climatiques et aux variations de la roche-mère. Des bilans ont confirmé que les carbonates des horizons profonds proviennent en gros de la décarbonatation des horizons de surface. La même analyse a été faite dans le piémont de Saint-Denis de Sig (J. Boulaine, 1959).

Dès que la décarbonatation est notable en surface, on voit apparaître dans les horizons (B) une coloration rouge d'abord discrète, mais dont l'intensité est, statistiquement, proportionnelle à la fois à la durée d'évolution des sols, et à l'intensité de la décarbonatation.

Pour les sols des niveaux IV et V entièrement décarbonatés, l'horizon situé au-dessus de l'accumulation carbonatée est un véritable horizon B argilique, très rouge et non calcaire (notre horizon [B]). L'horizon A est parfois plus foncé à cause de la matière organique, parfois aussi rouge que le B (la mise en culture a souvent diminué fortement le contenu en humus).

Bien que les variations climatiques quaternaires aient permis des évolutions pédogénétiques sous des climats plus humides que l'actuel, qui expliquent probablement le caractère lessivé des sols les plus anciens, l'étude des variations latérales (J. Boulaine, 1957) permet de relier tous ces sols dans une chronoséquence évolutive.

En fait, il existe deux types d'accumulation carbonatée, l'un à amas de carbonates pulvérulents (parfois durcis en nodules), l'autre à encroûtement friable continu, plus ou moins consolidé dans les zones érodées en surface (fig. 3).

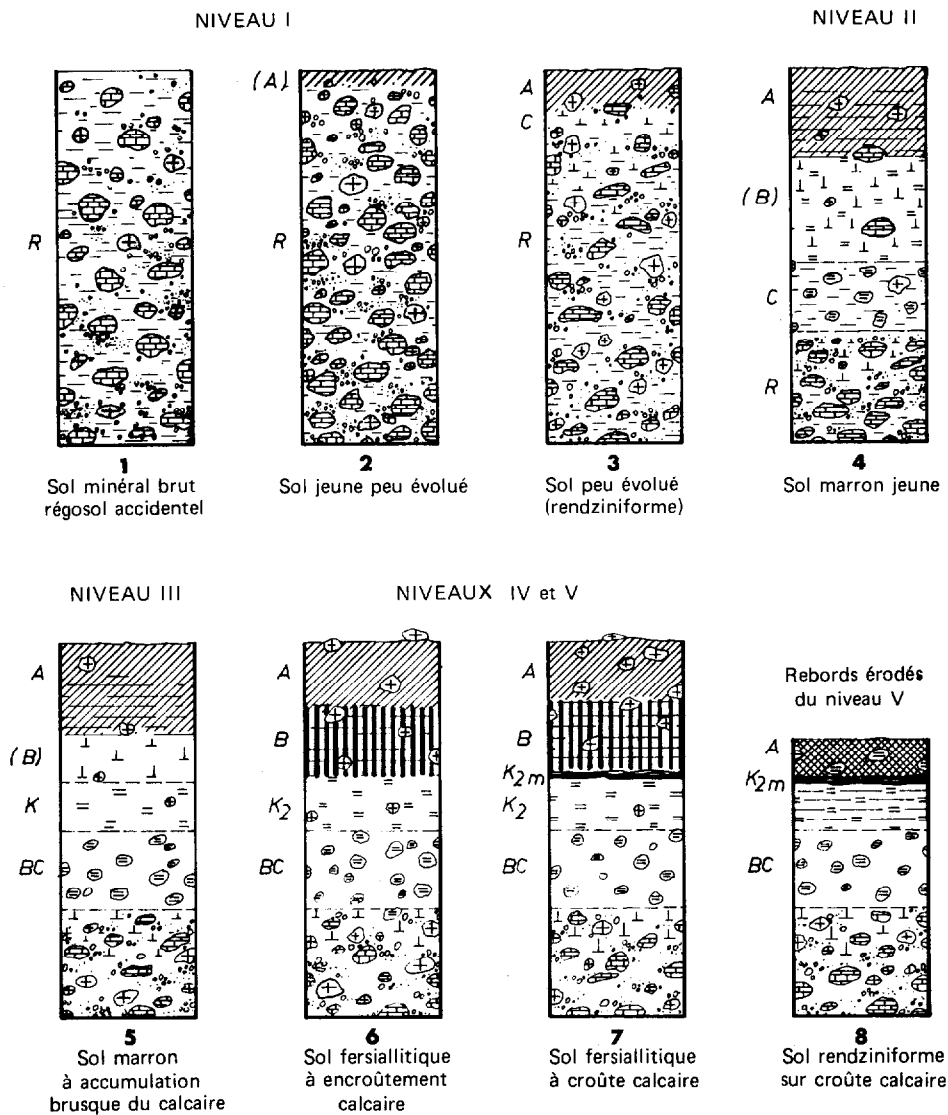


FIG. 2. — Chronoséquence des sols Calfersiques, carbonatés, encroûtés. Vallée du Chélif en Algérie Centrale (N.B. : les dénominations de chaque sol sont celles du C.P.C.S.).

D. LES VARIATIONS AUTOUR DE L'ORTHO-TYPE

Il n'est pas facile de mettre de l'ordre dans un ensemble aussi polymorphe que celui des sols Calfersiques. D'autant que les limites du concept seront en fait précisées par le classement des formes que nous accepterons d'y placer. Ce n'est qu'à la suite de multiples tentatives que peu à peu la taxonomie suivante s'est imposée à nous.

1. L'orthotype : les sols Argi-Calfersiques carbonatés

Nous prenons pour type central, *par définition*, le sol qui a été appelé : sol marron carbonaté (Guerassimov, 1952).

— Sol châtain-rouge à croûte - sol rouge lessivé à accumulation brusque (J. Boulaine, 1957), etc. et qui serait probablement un calcixeralf pour la Soil Taxonomy.

La séquence des horizons du profil est A_1 , $[B]$, K_2 , K_3 , C . Il y a deux fronts dans le profil : un front d'accumulation d'argile et un front d'accumulation des carbonates. Ceux-ci ont un premier horizon (encroûtement) d'accumulation généralisée surmontant une vaste portion du sol où celle-ci est localisée à certains amas, poupées, concrétions, etc. (*cf.* fiche synthétique).

2. Les autres grands types de sols Calfersiques

A côté de l'orthotype dont nous étudierons plus loin les différents faciès, il existe trois grands types de sols Calfersiques.

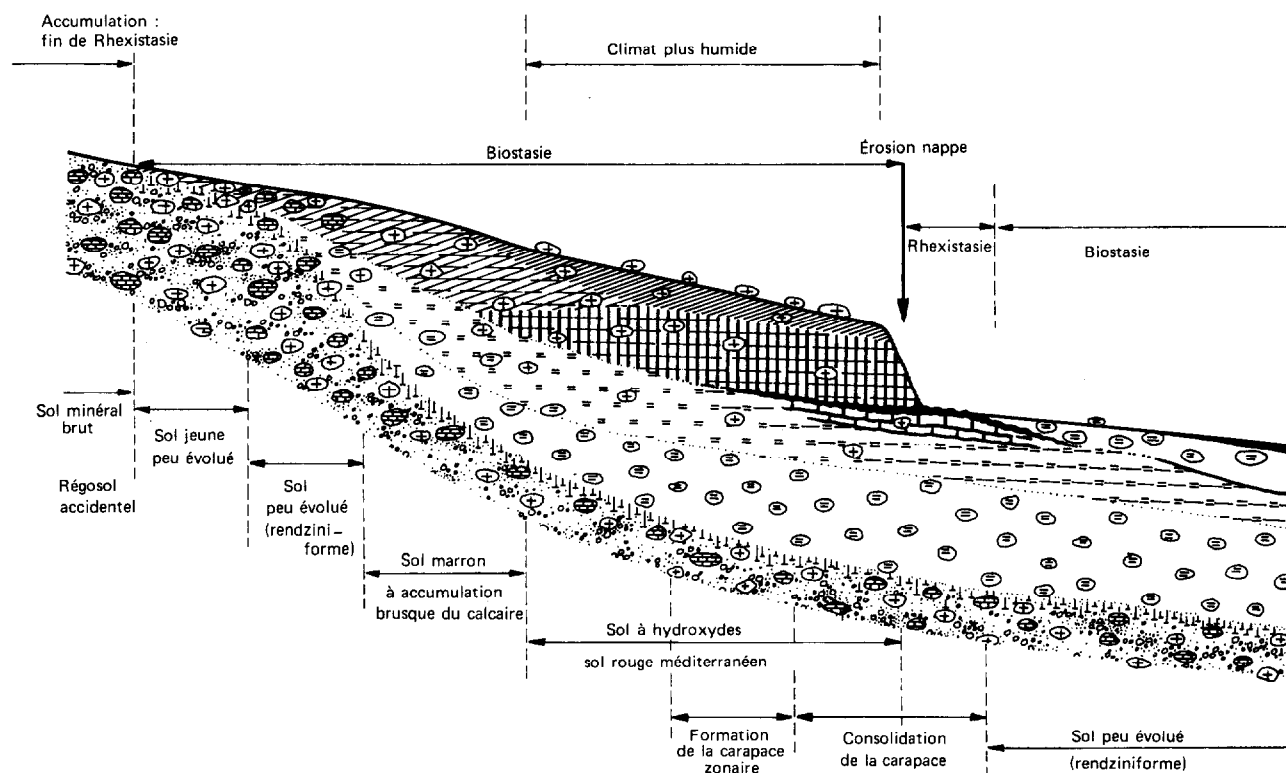


FIG. 3. — Chronoséquence des sols Calfersiques à horizon K_{2m} du Chélif.

LES CALFERSIQUES LIXIVIÉS

Ce sont ceux qui ont un horizon A_2 entre l'horizon A_1 et l'horizon $|B|$.

(N.B. Le terme lixivié implique qu'il s'agit d'un argicalfersique.)

Il s'agit souvent de sols sableux développés sur grès, sables dunaires ou alluvions sableuses, notamment dans les climats humides (en climats secs, au contraire, les sables donnent des Calfersiques carbonatés).

Parallèlement, à l'apparition de l'horizon A_2 , apparaît une désaturation du complexe et un milieu acide en A_1 , A_2 , et souvent dans le B . Mais il ne semble pas que l'acidolyse soit importante, encore moins la complexolyse : ces sols à horizon A_2 n'ont rien à voir (sauf cas extrêmes) avec les podzols.

L'horizon A_2 est souvent un horizon de distance entre la base du A_1 et le sommet du $|B|$.

Un caractère fréquent des Calfersiques lixiviés est l'engorgement et l'hydromorphie du sommet de l'horizon $|B|$, car les horizons supérieurs, sableux, ne peuvent stocker les précipitations qui, par ailleurs, s'y infiltrent bien. L'horizon $|B|$ forme plancher et des concrétions pisolithiques dans les sables, des taches noirâtres, voire des plaques ferrugineuses dans les argiles, traduisent morphologiquement cette hydromorphie. Quelquefois, de véritables cuirasses concrétionnées peuvent se former.

LES CALFERSIQUES SIMPLES

Il s'agit de sols Calfersiques sans horizon carbonaté et sans horizon éluvié, donc profil de type A_1 , $|B|$ rouge et/ou jaune, R .

Ils se forment soit dans des climats humides sur roches carbonatées (sols rouges classiques, cf. terra rossa ou terra fusca), soit sur des roches comme les granites (Mexique central), ou les quartzites (J. Boulainé, 1957).

Deux grands types, suivant que les horizons A et $|B|$ sont homogénéisés par érosion et brassage (gonflement et retrait sur les parois latérales des roches-mères dans le cas de faciès ruptiques et éventuels Calfersiques vertiques), ou sont, au contraire, bien différenciés.

La genèse de ces sols Calfersiques décarbonatés est assez complexe. Dans le cas des calcaires durs fissurés, l'évolution se fait par poches (kartz ouvert),

et on a des sols ruptiques. Lamouroux (1975) a montré l'influence des réactions des parois, d'une part dans la dissolution du calcaire, d'autre part dans la pédoturbation qui homogénéise le profil par suite des gonflements et des retraits des argiles smectiques.

Dans le cas de calcaires homogènes (karst couverts, morphologies non karstiques), ou de matériaux meubles calcaires (terrasses des oueds nord-africains et piémonts du S.E. de la France), l'organisation du sol en horizon n'est pas perturbée.

Par contre, la nature du matériau originel, si elle ne modifie guère le sol orthotype, gouverne la séquence pédogénétique. Si le calcaire est dur, non gélif, et le climat humide et chaud, l'évolution a lieu par la voie acide et la dissolution chimique domine.

Si, au contraire, le calcaire est tendre ou gélif, ou meuble, le climat moins humide ou plus froid (gélifraction), la voie basique est la règle et le fractionnement physique l'emporte sur les dissolutions au début de la pédogenèse tout au moins.

LES SOLS CALFERSIQUES CARBONATÉS EN AMAS

Le carbonate de calcium des horizons K_1 et K_2 se présente dans des volumes limités, de quelques centimètres cubes, de formes diverses. Ils peuvent être sphéroïdaux, allongés suivant une direction verticale ou présenter des bosses, voire des saillies assez aiguës. La limite externe est nette ou diffuse. La matière est plus ou moins pure (CO_3Ca ou associée à de la matrice).

On les appelle nodules, concrétions, granules, poupées, accumulations stalactiformes, etc. avec des adjectifs tels que diffus, durcis, farineux, crayeux, concrétionnés, etc. Ils sont associés soit avec des sols à horizon $|B|$, soit, plus fréquemment que les autres types, avec des sols à horizon (B) . Cela n'a rien d'étonnant, car ils correspondent à des couvertures pédologiques ayant ou recevant de faibles quantités de calcaire d'où il s'ensuit une accumulation limitée en quantité. Dans les couvertures anciennes qui, seules ont eu le temps d'évoluer en formant un $|B|$, il est statistiquement probable que le régime hydrique capable de lessiver l'argile a pu aussi décarbonater les horizons sous-jacents, à moins qu'il ne soit accumulateur de carbonates et dans ce cas, l'âge du sol est tel que les carbonates ont envahi tout l'horizon K . C'est alors un horizon K_2 nodulaire ou concrétionné.

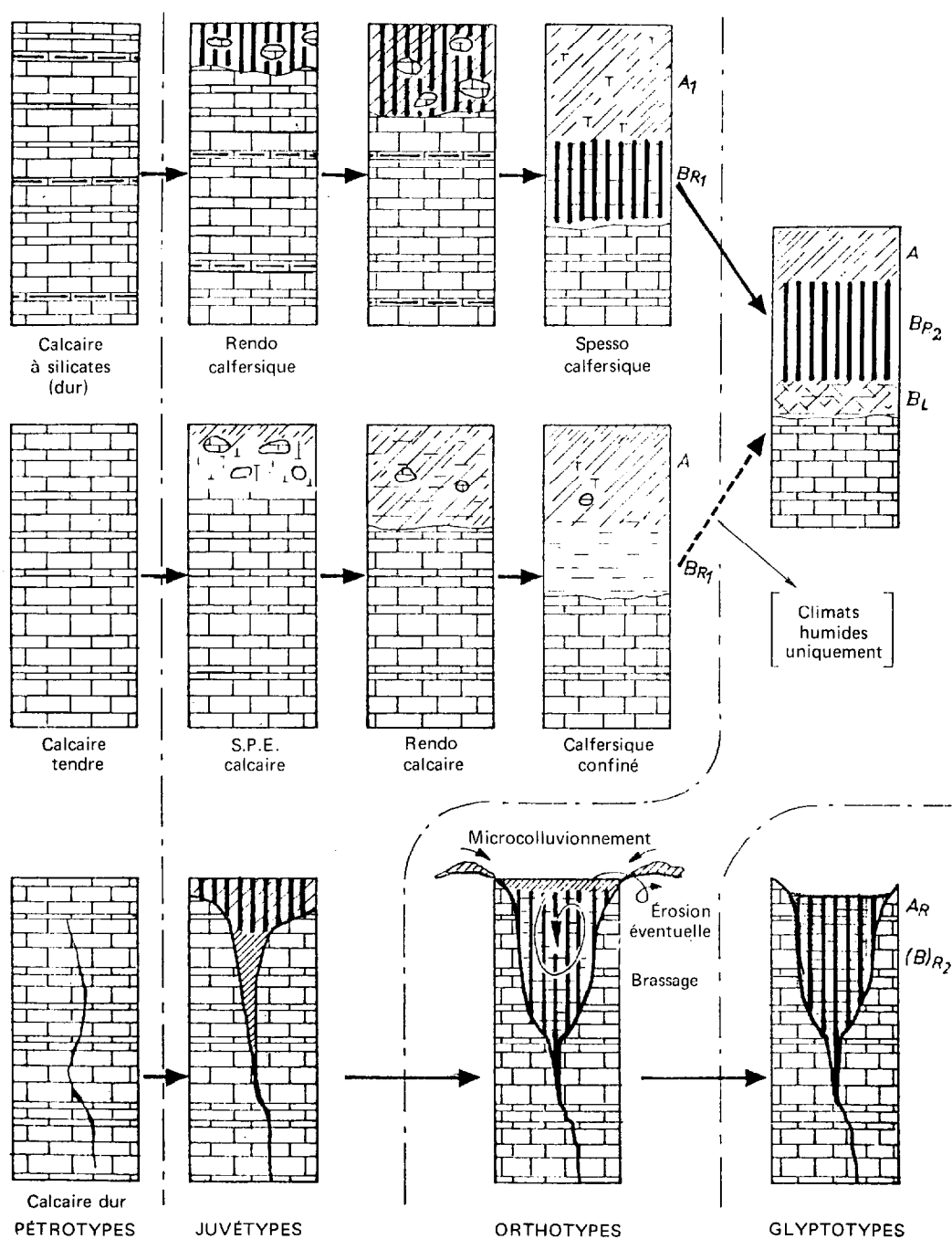


FIG. 4. — Evolution des sols Calfersiques simples (Haplo-calfersiques).

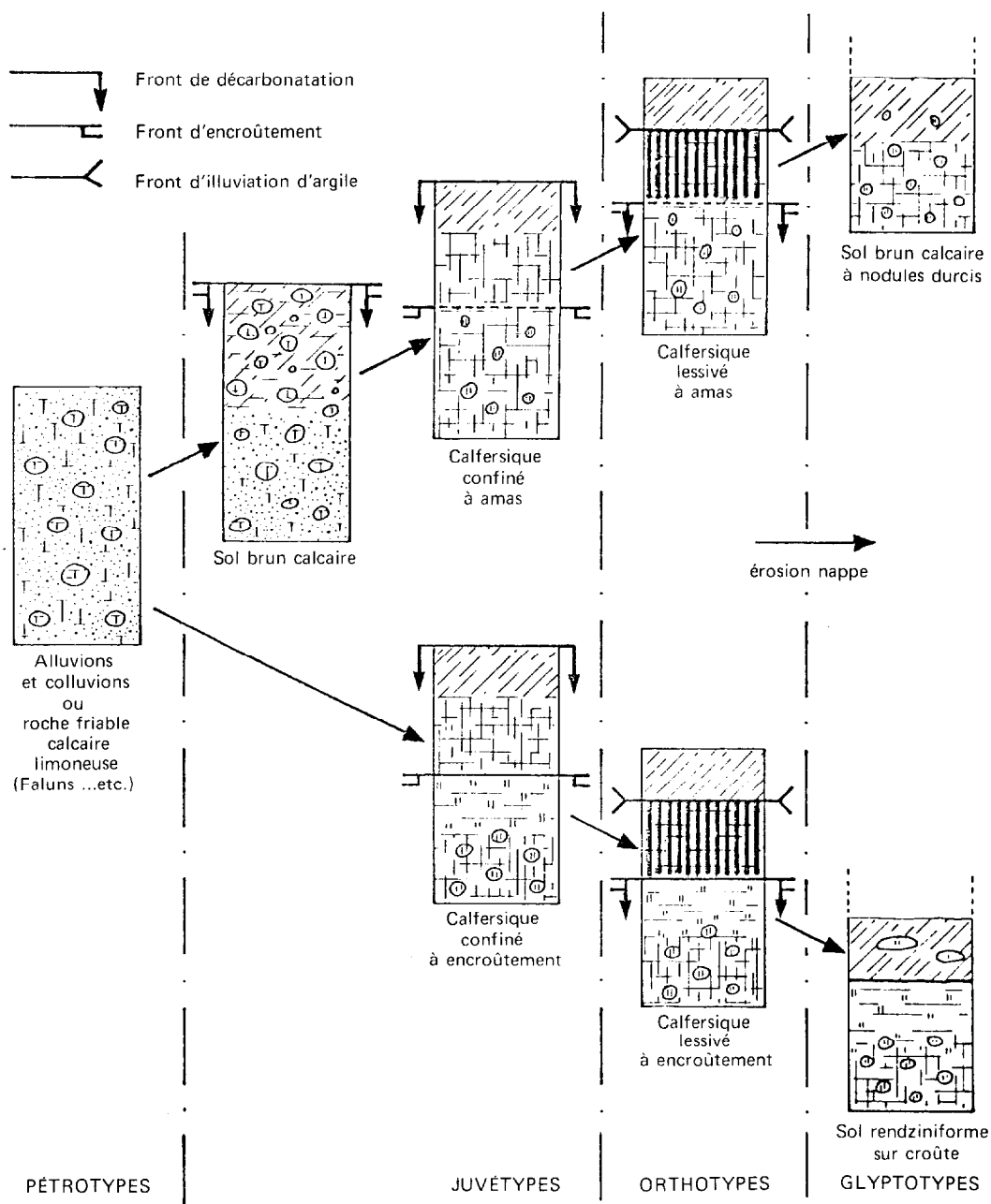


FIG. 5. — La double chronoséquence évolutive des sols rouges lessivés carbonatés. Climat xérothermique.

En général, les sols Calfersiques carbonatés en amas existent dans les parties du domaine des Calfersiques qui ont des caractéristiques climatiques ni trop humides ni trop sèches. — Pour fixer les idées, en Afrique du Nord, il s'agit des zones où P varie de 400 à 700 mm ± 100 . D'autre part, ils correspondent aussi très souvent aux surfaces ni trop jeunes ni trop vieilles. Dans le Chélif, leur support le plus fréquent est le piémont soltanien (niveau III, J. Boulaine) qui s'intercale entre les terrasses tensifto-tyrrhéniennes qu'il ravine, et la terrasse Rharbienne (Chélifien et récent des anciens auteurs. Niveau II).

LES DEUX TYPES D'ACCUMULATION : en horizon homogène que l'on peut appeler Straticarbonatés et en horizon à amas ou Nodocarbonatés, n'ont pas des valeurs identiques du point de vue génétique. Le premier est beaucoup plus fréquent et son domaine est plus large dans l'espace et dans le temps. Ses glyptotypes (après érosion des horizons supérieurs) sont pratiquement stables et donnent des sols rendziniformes sur croûte, qui sont souvent le sol dominant des vieilles terrasses (Moulouyen, Villafanchien). Vers les marges sèches, ils se relaient avec les sols peu évolués à croûte et encroûtement.

Le deuxième type correspond à des portions de la couverture pédologique moins chargées en carbonates de chaux, donc plus susceptibles de le perdre soit sous l'action du climat, soit en fonction du temps. Il s'agit souvent d'un type de transition soit dans un processus de décarbonatation, soit de carbonatation.

3. Les limites de la classe

L'ensemble des sols Calfersiques occupe un domaine dans lequel et au-delà duquel on rencontre des sols qui peuvent être les suivants (outre les sols « azonaux » !).

VERTISOLISATION ET MÉLANISATION (TIRSIFICATION)

Sur les matériaux argileux, et notamment ceux qui contiennent de la montmorillonite (marnes éocènes marocaines), ou des carbonates, les sols qui se différencient dans le domaine Calfersique sont des vertisols. Mais si la teneur en calcaire est élevée, si la pédoturbation ne se manifeste pas, un horizon d'accumulation brusque des carbonates (K_2 voire K_{2m}) peut se développer, tandis que les horizons supérieurs (calcaires ou non) prennent à la fois la structure et la couleur des horizons de

surface des vertisols, ainsi d'ailleurs que la plupart de leurs autres caractères.

Ces vertisols à encroûtement (Tirs à croûte des vieux auteurs marocains) ont été classés avec les sols calcimagnésiques comme sols calciques mélanisés.

On pourrait aussi envisager de les définir comme des paravertisols, etc.

Ces sols calciques mélanisés avec ou sans encroûtement, sont proches des sols Calfersiques : on les rencontre ensemble en Afrique du Nord, en Italie, au Liban, au Mexique (J. Boulaine, 1966).

Mais l'apparition de la couleur noire dans ces sols est liée à la fois à des liaisons particulières humus-argile et à une rétrogradation du fer qui est « séquestré » dans les argiles comme dans la matière organique. Ces phénomènes (N'Guyen Kha, 1973) sont en relation avec des phases d'humidité alternant avec des phases de sécheresse accentuée du sol. Certains sols Calfersiques peuvent acquérir en partie ces caractères, et manifestent une tendance à la mélanisation (Tirsification des marocains et des pédologues de langue française).

FRONTIÈRE AVEC LES SOLS LESSIVÉS

Sur les marges humides du domaine des Calfersiques, les passages aux sols de type lessivé (ou podzoliques à la rigueur) dépendent du matériau originel.

Sur les calcaires, le domaine s'étend largement avec des sols rouges décarbonatés dans les zones à climat contrasté xérothermique ou xérochiménique ; sur les roches cristallines basiques, ce sont les vertisols qui, en général, relaient les Calfersiques.

Par contre, sur les roches cristallines acides, les granites, les grès, les micaschistes et même, sur les schistes, apparaissent dès que les précipitations atteignent 800-900 mm des sols plus acides, à horizon B moins franchement rouges, à complexe absorbant moins élevé, traduisant des argiles monosiallitiques, à matière organique dont la décomposition est plus rapide, etc.

Bien que les limites exactes ne soient pas codifiées, l'ensemble des travaux récents (notamment B. Lepoutre) inclinent à penser qu'il y a des sols lessivés, souvent hydromorphes d'ailleurs, qui relaient les Calfersiques lixiviés au moins dans la zone méditerranéenne humide.

Un problème réside dans le fait que, en montagne, les températures plus basses entraînent une augmentation du stock organique et le développement d'un profil de type isohumique tout en maintenant une désaturation élevée. Il s'agit, en tout état de cause, de sols qui n'appartiennent pas aux sols Calfersiques.

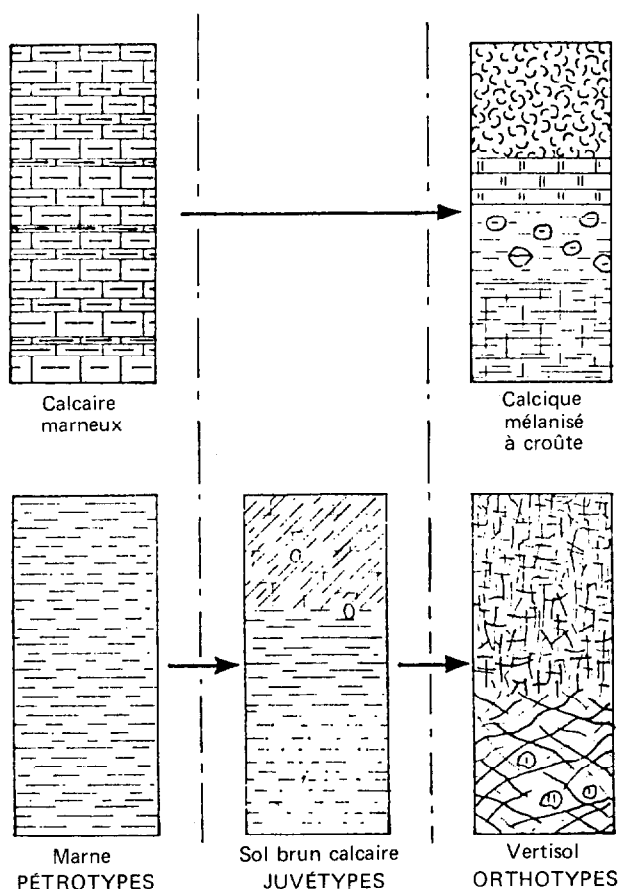


FIG. 6. — Vertisols et sol calcaire mélanisé du domaine des sols Calfersiques.

N.B. Outre la nature de la roche-mère, le régime hydrothermique du sol en relation avec le climat et avec la perméabilité de la roche, est une cause puissante de différenciation de l'un ou l'autre type de sol.

TRANSITION VERS LES ZONES SÈCHES

Il faut, avant tout, souligner plusieurs sortes de faits.

— Des climats plus humides, mais de rythme annuel analogue au climat actuel, ont régné pendant

plusieurs périodes du Quaternaire dans les marges actuelles du domaine de formation des sols Calfersiques. On peut donc rencontrer, sur des surfaces anciennes, des sols de ce type, dans des régions assez sèches actuellement.

— Le climat actuel connaît des années humides, même en zone sèche (définition reposant sur des moyennes). Le sol peut connaître une année sur cinq ou plus, un régime hydrique favorable à une évolution Calfersique ; certains caractères du profil, notamment la libération des oxydes de fer, en résultent. Par contre, des caractères plus annuels (plus zonaux) comme la saturation du complexe ou l'existence de calcaire dans les horizons supérieurs, peuvent coexister avec ces caractères dus à des régimes rares, mais répétitifs dont la vitesse d'acquisition est lente.

— Si des sols Calfersiques ont existé jadis dans ces zones sèches, les conditions actuelles les ont modifiés, en particulier les remontées biologiques qui resaturent ou calcarifient les horizons de surface, les apports éoliens qui ont souvent le même effet, l'érosion qui décape les horizons superficiels et s'arrête aux encroûtements tout en contribuant à les transformer, notamment en croûte et dalle, etc.

— Dans ces zones sèches (précipitations entre 150 et 300 mm), la pédogenèse normale actuelle se traduit surtout par des concentrations de carbonates, notamment sous forme d'horizons homogènes. La rubéfaction est pratiquement absente, l'argillisation très discrète, l'accumulation de matières organiques très faible.

Tout ceci se traduit, dans la couverture pédologique, par l'existence de différents sols pouvant se rattacher aux sols Calfersiques.

— Des glyptotypes — sols ayant des horizons K, notamment K_2 et K_{2m} , hérités de sols Calfersiques anciens, mais des horizons de surface qui les apparentent plutôt aux calcimagnésiques (sols secondaires) ou aux sols peu évolués (xérosols).

— Des sols ayant quelques caractères communs avec les Calfersiques, pour les horizons A et B, ainsi que des caractères peu développés. La frontière est alors très difficile à définir et reste la plupart du temps subjective.

Il faut probablement rappeler ici que nous avons toujours soutenu la théorie d'une classification non exhaustive, mais constituant un simple référentiel. Dans des cas comme ceux que nous venons d'évoquer, il ne faut pas hésiter à désigner les unités

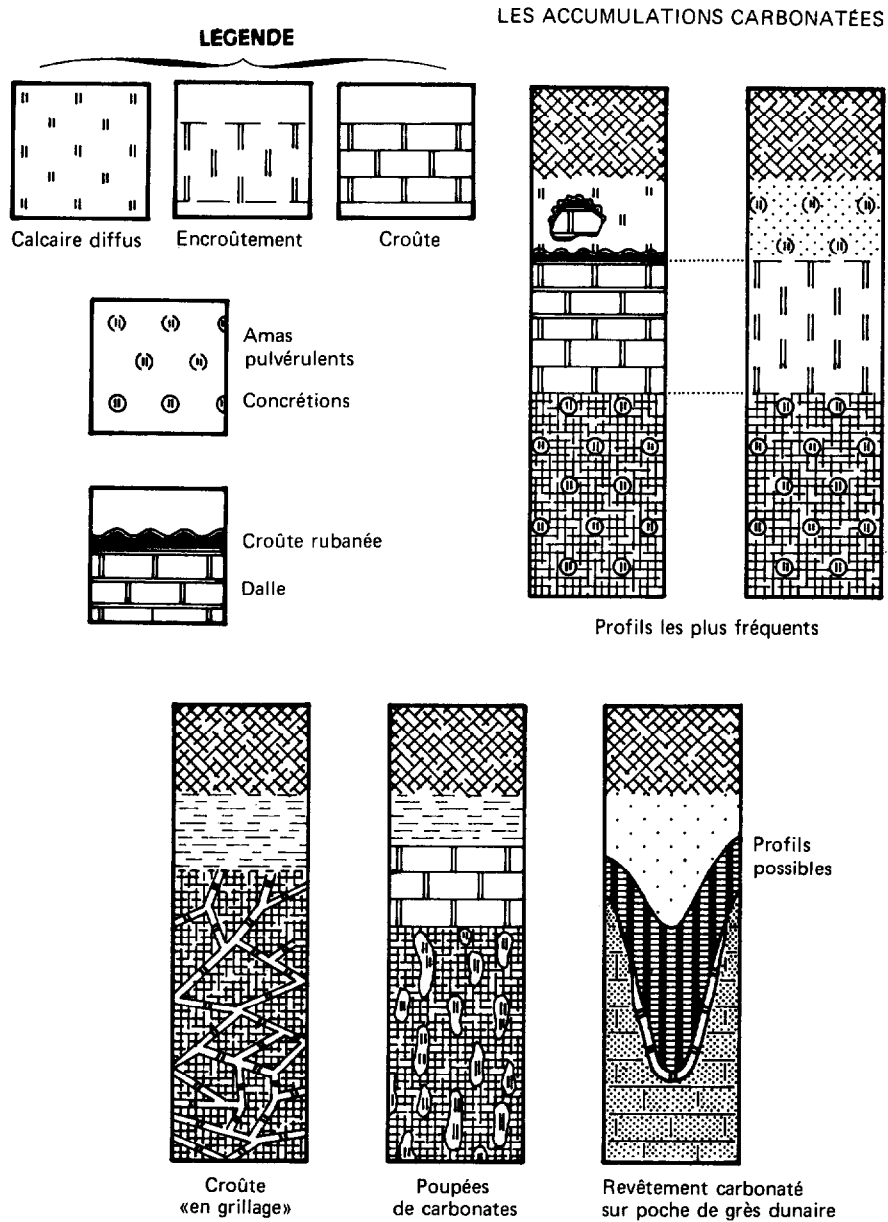


FIG. 7. — Légende des accumulations carbonatées et types de profils comportant des accumulations carbonatées.

TABLEAU I

Les formes d'accumulation et d'individualisation du calcaire dans les dépôts et les sols

Dénomination	Définition	Forme	Dimensions	Limites de l'horizon	Epaisseur de l'horizon	Couleur	Structure	Durcissement	% calcaire dans l'horiz.	Divers
Accumulation diffuse	Accumulation sans individualisation du calcaire (parfois pseudomycélium)	—	—	Non visibles	Quelques dizaines de cm	Parfois plus clair que les horizons qui l'entourent	—	Nul	< 40 %	—
Taches	Amas de calcaire friables, dispersés dans la masse d'un horizon.	Contours plus ou moins nets ; formes très variées.	De qq. mm à 25 cm de longueur ; qq. mm à qq. cm d'épaisseur.	Progressives	Très variables peuvent être présentes sur toute l'épaisseur du dépôt.	Blanc à crème brun ou rubéfié entre les taches	—	Nul ou faible	< 50 %	Densité dans l'horizon très variable
Granules	Amas de calcaire durcis	Formes variées, souvent sphériques ou cylindriques.	Diamètre inférieur à 1 cm.	Progressives	Très variable. Peuvent être présents sur tout l'épaisseur d'1 dépôt.	Blanc à saumon brun ou rubéfié entre les granules.	—	Du granule fort de l'horizon faible.	60 %	Densité dans l'horizon très variable.
Nodules	—	—	Volume : quelques cm ³	—	—	—	—	—	—	— Taches, granules et nodules peuvent être associés dans un même horizon.
Encroûtement crayeux ou tuffeux	Horizon très calcaire, de couleur claire à structure souvent massive.	—	—	Progressives à la base plus ou moins nettes au sommet.	Quelques dizaines de cm à qq. mètres.	Rose, crème ou blanc plus ou moins homogène.	Massif parfois polyédrique, parfois finement feuilleté, surtout vers le sommet.	Généralement assez faible.	> 60 % augmentation progressive du bas vers le haut.	—
Encroûtement nodulaire	Horizon à granules et nodules pris dans une gangue très calcaire.	—	—	—	—	—	Nodulaire parfois finement feuilleté surtout vers le sommet.	Généralement assez marqué.	> 60 % augmentation progressive du bas vers le haut.	—
Croûte	Horizon très calcaire, durci, à structure lamellaire, feuilletée, très accentuée.	Superposition de feuillets discontinus.	Epaisseur des feuillets : qq. mm à qq. cm (l'épaisseur croît du bas vers le haut).	Progressives à la base : passage à l'encroûtement net au sommet.	Quelques cm à plus d'un mètre.	Blanc à blanc-crème, parfois rose taches noires	Lamellaire, feuilletée, structure des feuillets massive ou nodulaire ou finement feuilletée.	Dur à très dur augmentation du bas vers le haut.	> 70 %	Surmonte presque toujours un encroûtement.
Dalle	Un ou plusieurs feuillets très durs.	Feuillets continus.	Epaisseur des feuillets : qq. cm jusqu'à 20 cm.	Nettes	Quelques dizaines de cm.	Gris ou saumon.	Très compacte ; fentes de retrait	Très dur	> 80 %	Surmonte toujours une croûte.
Pellicule rubanée	Pellicule très dure pouvant recouvrir les croûtes et les dalles.	Epouse parfaitement les ondulations de la surface qu'elle recouvre.	—	Nettes	Quelques mm à quelques cm.	Blanc ou saumon filets sombres.	Très finement lamellaire	Très dur	> 80 %	Surmonte toujours une dalle ou une croûte.

cartographiques par des termes spéciaux comme par exemple « unité d'apparement » ou « unité intergrade » définis autrement que les taxes de la classification, mais *par référence* à ces taxes idéalisés de notre classification de référence.

TRANSITION AVEC LES ZONES CHAUDES ET HUMIDES

Nous le citons pour mémoire. Il semble bien que dans certaines régions, il y ait passage à des sols ferrugineux tropicaux, notamment au Sénégal et au Maroc, où certains sols de type Merzag du plateau central marocain notamment ont bien des caractères qui les apparentent à ces sols ferrugineux.

E. LES AVATARS DES CONCENTRATIONS CALCAIRES

La plupart des auteurs géologues, géographes, agronomes, qui ont étudié l'Afrique du Nord et les régions similaires, ont constaté « la grande extension des terrains à croûtes » : la carapace calcaire n'est donc pas un phénomène limité, une curiosité géologique comme les dépôts de sources que les géologues mettent un point d'honneur à figurer sur leurs cartes, bien au contraire. Elle couvre des surfaces énormes, des centaines et des centaines de kilomètres carrés et il a été nécessaire, dans de nombreuses cartes géologiques, d'en faire une unité spéciale, car elle recouvre les terrains sous-jacents au point d'empêcher toute identification pétrographique ou stratigraphique.

Les pédologues, quant à eux, en ont déjà donné de très nombreuses cartes détaillées.

L'extension des « terrains à croûtes » n'est pas limitée aux zones les plus méridionales du bassin méditerranéen ; on en trouve au Sénégal, au Mexique, dans des zones à climat xérochiménique et naturellement, dans toutes les régions xérothériques.

Depuis longtemps donc, les naturalistes connaissent, dans les régions à climat semi-aride et aride, et notamment dans la zone méditerranéenne, des formations calcaires sub-superficielles auxquelles on a donné le nom de carapace ou de croûte, etc. On a beaucoup discuté sur l'origine de ces formations, car le problème n'est pas simple. On les trouve sur des roches très variées et tous les auteurs qui les ont étudiées sont d'accord pour reconnaître que leur formation s'est poursuivie pendant toute la période

quaternaire depuis le Villafranchien jusqu'à l'Ouljien au moins.

D'autre part, l'étude des carapaces calcaires a été abordée par des spécialistes très différents : géologues, géomorphologues, préhistoriens, pédologues, botanistes, géographes. Les observations recueillies par ces chercheurs reflètent les préoccupations qui les animaient et le langage employé pour les descriptions varie beaucoup. Il n'est pas toujours facile de discuter les théories nombreuses qui ont été présentées pour expliquer la genèse d'une formation complexe lorsque le langage change d'un auteur à l'autre !

Cependant, la diversité des recherches poursuivies sur les carapaces calcaires montre tout l'intérêt qu'il y aurait à pouvoir les interpréter correctement. La grande extension dans le temps comme dans l'espace de ces formations en font un repère de choix dans toutes les recherches concernant le Quaternaire méditerranéen. Des spécialités aussi variées que l'Agriculture et l'Archéologie, la Paléoclimatologie et l'Hydrogéologie, la Géomorphologie et la Botanique, ne peuvent que profiter d'une solution du problème de cette interprétation.

La nature calcaire de la « croûte » ne fait évidemment aucun doute ; il faut cependant signaler que quelques auteurs ont parlé en outre de ciment siliceux (Italie - Pouilles). Son épaisseur est toujours estimée à quelques décimètres et d'après certains auteurs, peut atteindre plusieurs mètres. Enfin, la localisation des croûtes et carapaces dans les régions à climats arides et semi-arides a toujours été constatée bien que leur signification climatique soit au contraire l'objet de vives controverses.

De nombreux auteurs ont signalé la pauvreté en débris clastiques de certaines parties de la carapace : ce n'est pas un fait général, mais un fait très fréquent.

Il semble enfin que la plupart des spécialistes admettent qu'il s'agit d'une formation assez ancienne, antérieure, sauf exception, à la période historique ; les croûtes calcaires sont rares et peu développées dans les dépôts âgés de 2 à 10 000 ans, beaucoup plus fréquentes dans ceux de 10 à 100 000 ans, et les croûtes plus anciennes sont épaisses, souvent polygéniques ou érodées, ou remaniées.

La plupart des auteurs admettent les points suivants :

— la généralité de la formation des carapaces calcaires

- leur distribution en fonction de climats plus ou moins arides
- leur épaisseur de l'ordre du mètre
- leur nature calcaire
- leur présence, à la surface des affleurements géologiques, sous une faible épaisseur de terre
- leur ancienneté relative
- la pauvreté en débris clastiques de certains de ses faciès

Par contre, l'origine de ces formations et la nomenclature sont encore très controversées.

1. Nomenclature

Nous ne reviendrons pas sur la controverse que ce problème a soulevé. Nous utiliserons celle qui a été proposée par G. Beudet *et al.*

Pellicule rubannée : elle épouse parfaitement les ondulations de la surface qu'elle recouvre, croûtes et dalles. Très dure et très finement litée, blanche ou saumon, avec des filets sombres, elle a de quelques millimètres à quelques centimètres. $\text{CO}_3\text{Ca} > 80 \%$.

Dalle : feuillets (ou même strates) continus, très durs, gris ou saumon, très compacts, surmontent toujours une croûte, de quelques centimètres à décimètres d'épaisseurs. $\text{CO}_3\text{Ca} > 80 \%$.

Croûte : horizon très calcaire, durci, à structure lamellaire, feuilletée, très accentuée (parfois nodulaire). Superposition de feuillets discontinus de quelques centimètres dont l'ensemble peut faire quelques décimètres. Limite nette au-dessus, plus progressive à la base. Couleur blanche à blanc crème, parfois rose. Taches noires possibles. $\text{CO}_3\text{Ca} > 70 \%$.

Encroûtement : horizon très calcaire, de couleur claire à structure souvent massive. Limites progressives à la base, plus nettes au sommet. De quelques dizaines de centimètres d'épaisseur (parfois plus du mètre). Couleur rose crème ou blanc. Structure massive, mais friable, parfois poreux. $\text{CO}_3\text{Ca} > 60 \%$.

Nodons carbonatés : terme général qui ne figure pas dans la terminologie Beudet. Comporte, suivant la taille, des granules, des nodules (durs, petits ou gros), des taches ou amas de calcite, des poupées, des racines pétrifiées, etc. Accumulations carbonatées limitées à une portion de l'horizon, contrairement aux formes précédentes. De 40 à 60 % de CO_3Ca .

Accumulation carbonatée diffuse — ou adjectif (horizon) carbonaté. Accumulation dans la masse de l'horizon qui est plus clair que les autres horizons. Teneur en CO_3 inférieure à 40 %.

Correspond à la notation Ca qui accompagne celle de l'horizon : Cca. Même chose s'il s'agit de nodons en %, < 40 % du volume du sol.

Les nodons carbonatés correspondent aux notations K_1 et K_3 ; les encroûtements à la notation K_2 ; les pellicules rubannées à la dalle à K_{2m}' et $K_{m2,,}$; la croûte (zonaire ou nodulaire) à K_{2m} .

Dans la littérature anglo-saxonne, on utilise « horizon calcic et petrocalcic » (Soil Taxonomy), caliche (Reeves, 1976) et calcrète. Beaucoup d'autres termes ont été proposés.

2. Passages latéraux

Il y a un polymorphisme étonnant dans les coupes où apparaissent les accumulations calcaires. Mais ce qui est établi de façon sûre, c'est que la succession des différents horizons est toujours dans le même ordre de haut en bas : pellicule rubannée, dalle, croûte, encroûtement, nodons carbonatés.

Latéralement, les passages d'un type d'horizon à l'autre sont plus discutés, mais A. Ruellan et nous-mêmes avons décrit des passages indiscutables. La coupe suivante confirme à la fois le caractère pédologique de l'accumulation des carbonates, et le passage d'horizons K_1K_3 à l'encroûtement K_2 .

COUPE DE LA LUNETTE DE LA DAYA MORSELLY (ORAN)

La Daya Morselly est une sebkha salée qui a été surcreusée par déflation éolienne. Elle est bordée à l'est par deux systèmes de lunettes emboîtées (les lunettes sont des dunes d'éléments limono-argileux enlevés à la surface des zones salées par déflation éolienne et accumulés en bordure). Le système le plus ancien, situé à l'extérieur du système récent qui le recouvre en partie, est recouvert de sols partiellement décalcifiés et dont les chlorures et les sulfates ont été entraînés en profondeur. Les sulfates s'accumulent en un horizon situé en moyenne à 2 m de profondeur et très épais (2 à 3 m). Les chlorures n'apparaissent pas dans la coupe et ont probablement été entraînés par les eaux de percolation. Les calcaires, par contre, sont accumulés soit sous forme de nodules, soit sous forme de pâte

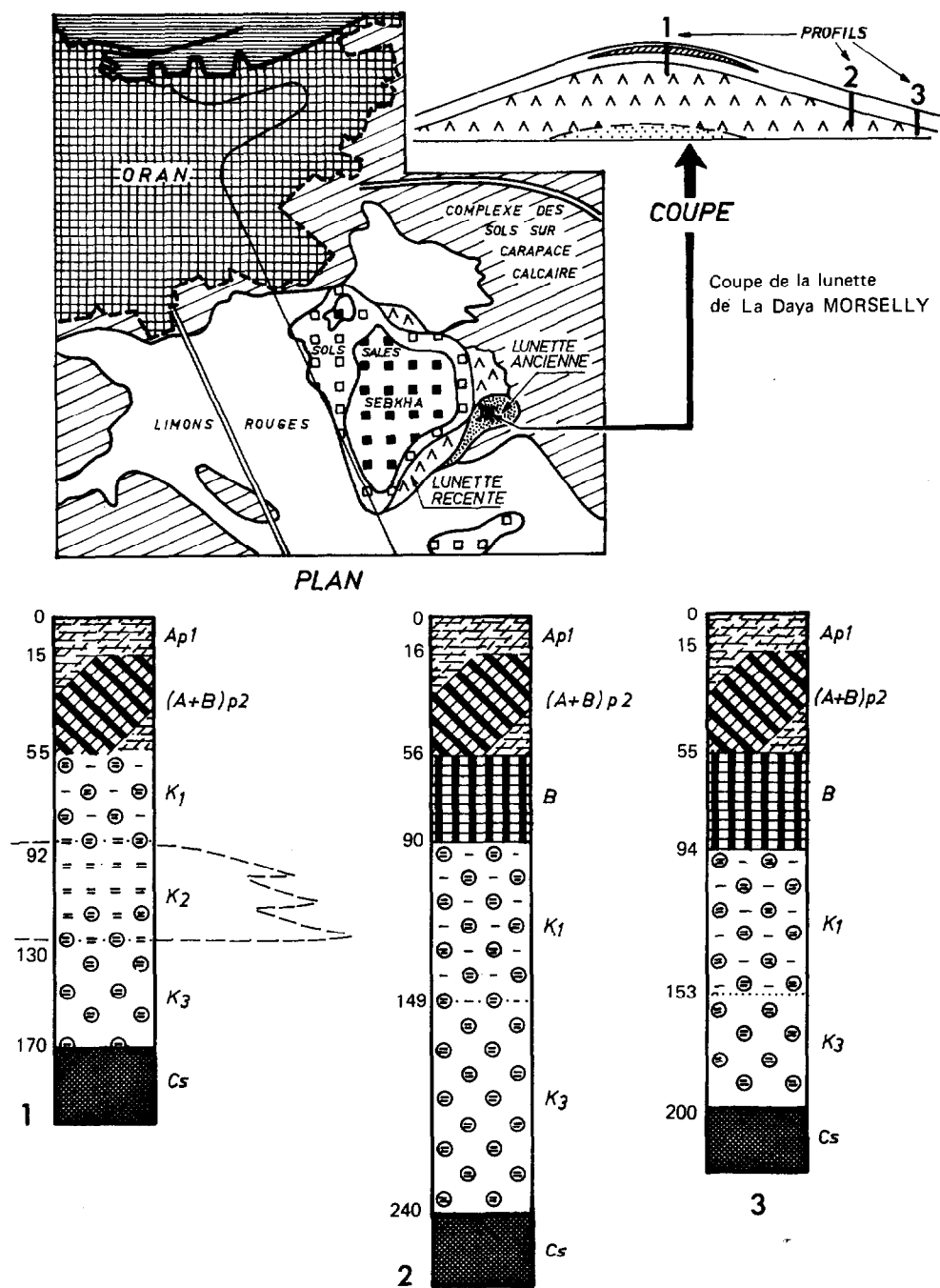


FIG. 8. — Coupe de la Daya Morselly (autoroute de la sortie d'Oran) et profils typiques.

calcaire homogène. On observe facilement le *passage latéral* d'un type d'accumulation à l'autre. En fait, les sols sont polyphasés et ils ont dépassé le stade sol marron : ce sont déjà des sols à hydroxydes. De plus, les terrains dans lesquels la tranchée de l'autoroute a été creusée ont été jadis plantés de vigne et défoncés : les horizons de surface sont de ce fait mélangés ou associés en tranches correspondant aux passages successifs de la défonceuse et inclinées à 45°.

3. Théories sur la genèse des carapaces calcaires

Ces théories sont nombreuses, mais on peut les grouper en deux catégories :

LES THÉORIES GÉOLOGIQUES

Elles font appel pour expliquer la formation des carapaces calcaires, à des phénomènes de sédimentation du calcaire dans des conditions variables : dépôts de calcaire lacustre, ruissellement d'eau à l'air libre et dépôt corrélatif, incrustation par évaporation ou par évaporation de CO_2 , etc.

LES THÉORIES PÉDOLOGIQUES

La carapace calcaire serait un horizon d'accumulation de calcaire dans un sol, cet horizon ayant été par la suite le lieu de remaniements, structuration, recristallisation, qui ont donné à la carapace sa structure actuelle.

Parmi les arguments qui ont été longtemps opposés aux pédologues, l'un des plus difficiles à réfuter fut qu'il est impossible que des teneurs très élevées en CO_3Ca (95 % et plus) soient réalisées par un phénomène d'accumulation dans un milieu autre que l'eau ou l'air. Pour les auteurs qui soutenaient cette façon de voir (Roseau, Durand, etc.), il est nécessaire qu'un squelette minéral soit cimenté par le calcaire ou les sulfates pour qu'il soit possible de parler d'un horizon d'accumulation.

Il ne s'agissait, en fait, que d'une difficulté épistémologique ! Elle n'existait que dans l'esprit de ses inventeurs. L'expérience *in vitro* (C. Plet) et les études micromorphologiques ont montré depuis dix ans que les carbonates, comme d'ailleurs les sulfates, sont capables en cristallisant dans le sol, de repousser les éléments pré-existants. Ceux-ci sont peu à peu dilués dans la masse de calcite authigène. La matrice,

comme le squelette, est en quelque sorte dispersée au milieu de la masse carbonatée. Ruellan, et quelques autres, vont même jusqu'à voir des épigénies que nous avons observés en ce qui nous concerne, au moins pour la matière organique si ce n'est pour la matière minérale.

Toute une série de recherches convergent : au niveau géographique (immensité de la couverture encroûtée), au niveau hectométrique : la coupe de la Daya Morselly montre par exemple des horizons carbonatés dans des dépôts éoliens récents où toute accumulation par ruissellement ou apport latéral est impossible ; au niveau métrique (organisation des horizons carbonatés), au niveau microscopique (forme et localisation des accumulations de calcite).

L'accumulation du calcaire à la suite de processus pédogénétiques artificiels (irrigation avec des eaux calcaires) est d'ailleurs connue : dans la Ghouta de Damas, les sols irrigués depuis plusieurs millénaires ont un horizon d'accumulation calcaire, épais de plusieurs centimètres et où la teneur en calcaire atteint 50 à 60 % (d'après une communication orale de MM. Mansour et Van Lière).

La formation de calcite dans le sol est au fond un phénomène facile à expliquer et sans grande signification pédologique :

il y a dans le sol du CO_2 en abondance, et le calcium est pratiquement ubiquiste. Des quantités d'êtres vivants secrètent du carbonate de chaux et la chimie de celui-ci est parfaitement compatible avec des insolubilisations sous forme de calcite. (On pourra consulter sur tous ces sujets l'ouvrage « Caliche » de C.C. Reeves, 1976).

Une autre difficulté fut d'expliquer par une approche uniquement verticaliste les accumulations parfois considérables de calcium nécessaires pour la constitution d'accumulations de plusieurs dizaines de décimètres à quelques mètres d'épaisseur.

Outre que le verticalisme pur n'est qu'une utopie, les recherches récentes sur les apports éoliens (Yaalon, 1971) et sur les mouvements obliques (Ruellan), ont bien montré que toutes les accumulations étaient explicables. Au fond, ce qui est sujet de recherche, ce n'est pas tant la présence d'accumulations carbonatées que leur absence dans certains sols et dans certains horizons du sol.

En effet, la formation d'un horizon d'accumulation de carbonates résulte de deux processus. Il y a *formation de calcite* dans l'horizon, et *absence d'évacuation*.

L'absence d'évacuation est en relation avec le régime hydrique et la perméabilité générale du pédon, caractères essentiels du sol que les agronomes et les pédologues aimeraient connaître avec précision ; au contraire, la formation de carbonates tient à l'état de la réserve calcique, donc à l'âge du sol, aux circulations obliques, aux apports éoliens, et des actions biologiques, toutes choses assez contingentes en définitive.

On est très loin d'avoir résolu toutes les questions ainsi posées. On est même loin de les avoir abordées, tant il est vrai que les pédologues ont passé des dizaines d'années à poser les problèmes et à éliminer des idées parasites, voire fantaisistes. C'est dommage, car si nous commençons à savoir observer des accumulations calcaires, nous sommes encore loin de les interpréter correctement.

Que reste-t-il des controverses et des discussions passées (1) en ce qui concerne l'explication de la mise en place des accumulations carbonatées ? Pratiquement, rien en ce qui concerne les théories géologiques, si ce n'est que la mise en place de certaines accumulations, notamment en milieu péridésertique, sont parfois expliquées par les niveaux des nappes anciennes. Il est indéniable de même, à notre avis, que certaines formations ont une origine liée à l'engorgement du sol (ancien sens du terme encroûtement : cf. J. Boulaine, cartes géologiques de Debrousseville et Saint-Cloud en Algérie).

Mais c'est surtout la théorie pédologique qui a marqué des points. Les chronoséquences qui ont pu être reconstituées (J. Boulaine, A. Ruellan) ont mis en évidence l'accumulation des carbonates en fonction du temps, et les importances relatives des mouvements verticaux et horizontaux.

Les relations avec le climat sont à peu près déterminées. Le problème le plus discuté, c'est la nature de l'agent de la mise en place des carbonates. Qu'il s'agisse de phénomènes purement physico-chimiques, ou de phénomènes biologiques (action des racines, déjection et sécrétions des animaux), que le mécanisme soit purement physique (évaporation, évaporation de CO_2), ou que les autres composants chimiques du sol jouent un rôle (présence de ClNa ou de sulfates qui modifient la solubilité de la calcite, épigénie de minéraux par les carbonates, etc.).

(1) En particulier, de la période 1945-1955 où elles furent très vives !

F. CLASSIFICATION ET FACIÈS

Les sols Calfersiques n'ont pas d'existence « légale ». Tout ce qui suit est donc une *proposition* qui est justifiée par le souci d'exprimer les caractères essentiels de sols qui recouvrent une portion importante de la croûte terrestre.

Définition

Sols très évolués par rapport au matériau originel, et très différenciés par rapport aux autres sols. Ils comportent en général plusieurs horizons et leur épaisseur au-dessus d'un contact lithique ou paralithique est supérieure à 30 ± 10 cm.

Le diagnostic provient de l'existence d'un horizon spécial : l'horizon chromique, argillique, parfois cambique) dans lequel les oxydes de fer colorent la matrice de façon homogène en rouge ou en jaune (horizon $[B_R]$ ou $[B_L]$). Avec Fer libre/Fer total $> 0,5$, la capacité d'échange de cet horizon est relativement élevée, et sa teneur en argile dépasse 30 %. La valeur

$$\frac{\text{C.E.C.} \times 100}{\text{Argile}} \text{ est supérieur à } 40 \text{ mé.}$$

Le régime hydrique est caractérisé par une période d'assèchement très poussé. Il y a non seulement sécheresse relative au sens de Gaussen et Bagnouls, mais sécheresse absolue, de sorte que le profil hydrique est caractérisé par des humidités inférieures au point de flétrissement sur une forte épaisseur (60 ± 10 cm) pendant au moins 60 jours par an.

Si le matériau est calcaire, il y a décalcarification totale ou partielle des horizons A et B ; il y a fréquemment des horizons carbonatés, même sur des matériaux qui ne sont pas calcaires.

On désigne par horizons carbonatés les horizons du sol dans lesquels il y a accumulation de carbonates secondaires. Il doit y avoir au moins 15 % de carbonates pour les matériaux sableux et au moins 40 % pour les matériaux argileux. Ces carbonates doivent présenter une *micro-texture continue*.

D'après Gile :

« Le pourcentage spécifique de carbonate n'est « pas une propriété diagnostique, parce qu'elle ne « peut pas être déterminée sur le terrain et parce que « des carbonates authigènes et allogènes ne peuvent

« être distingués analytiquement. Il faut définir « l'horizon K sans tenir compte des grains de calcaire « du squelette. Aussi, l'horizon K peut être défini « sur la base des volumes approximatifs de matériaux « ayant la micro-texture K, dans lesquels le carbonate « couvre ou enrobe des grains du squelette et forme « un milieu essentiellement continu. »

Ces horizons carbonatés peuvent être continus (K_2) ou discontinus (K_1 et K_3). Ils peuvent être plus ou moins structurés (K_{2m} , K_{1m} , K_{3m}) par recristallisation des carbonates. Leur épaisseur peut être grande et les teneurs en carbonates approcher 100 % (K_2).

Les horizons A comportent une matière organique bien décomposée de type général mull calcique. La litière est annuelle, rarement épaisse (conifères), la liaison avec la matière minérale est la règle.

L'activité biologique est intense sous végétation naturelle, de type arbustive à sous-bois de buissons et à tapis d'annuelles, dégénèrent parfois en maquis ou en garrigue.

L'action de l'homme, qui a lieu depuis plusieurs millénaires en certains endroits, modifie le couvert végétal (défrichements et cultures, surpécoration, sur-exploitation des bois, incendies, etc.) entraînant souvent une érosion nappe qui a colluvionné les points bas de la couverture pédologique aux dépens des points hauts.

En général, les horizons A_1 passent progressivement aux horizons [B] par une limite horizontale et distincte (ordre de grandeur 2-5 cm), mais il peut y avoir contact franc (sols Calfersiques planosoliques) ou existence d'un horizon A_2 clair (sols Calfersiques lixiviés).

Remarque I : Tous les seuils chiffrés qui sont donnés dans ce texte le sont à titre provisoire et pourront être modifiés dans l'avenir.

Remarque II : On ne peut pas faire tenir toutes les variantes possibles des sols Calfersiques dans le cadre classique de la classification à quatre niveaux (classe, sous-classe, groupe, sous-groupes). Il faut donc faire intervenir entre le sous-groupe et la famille des éléments de définition avant de tenir compte de la roche-mère (famille) et des épaisseurs des horizons, et des régimes du sol (série).

On a proposé pour désigner ce niveau intermédiaire différents termes. Nous utiliserons le terme *faciès*.

Au niveau du faciès, nous donnons *sans hiérarchie* un ou plusieurs caractères complémentaires qui n'ont pas servi à définir les sols aux niveaux plus élevés.

Schéma de classification

Deux sous-classes, suivant que l'horizon [B] est argillique ou cambique. Cela revient à distinguer deux régimes hydriques différents, suivant que la réserve est homogène dans le solum (horizon cambique) ou présente une augmentation en profondeur (horizon argillique).

VI-1 Sous-classe des Calfersiques argilliques

VI-2 Sous-classe des Calfersiques cambiques

N.B. La classification F.A.O. contient des chromic luvisols et des chromic cambisols qui sont très proches de ces sols et par leur définition générale et par leur division en deux sous-ensembles. Mais nous donnons la priorité au caractère « méditerranéen » de tous ces sols par notre concept de sol Calfersique, ce que ne fait pas la classification F.A.O.

Au niveau des groupes, c'est la séquence des horizons majeurs qui permet le classement. Nous prenons en compte la présence éventuelle, outre les horizons A et B, d'horizons

1) K_2 , horizon carbonaté continu : straticalfersiques.

2) K_1 et/ou K_3 , horizon carbonaté discontinu : nodocalfersiques.

3) R ou C (absence d'horizon K) : haplocalfersiques.

4) A_2 , sols lixiviés (n'existent que pour les argicalfersiques).

N.B. Les groupes du type 1, 2, 3, existent ou peuvent exister dans les deux sous-classes.

Au niveau des sous-groupes, ce sont les complications de la séquence des horizons qui interviennent : hydromorphie du B, durcissement et remaniement des horizons K, caractère ruptique ou plonosolique du contact entre le B et son substrat, etc.

On mettra en évidence, au niveau du faciès, les autres caractères (humifère, lutique, amphichromique, tirsifié, etc.) qui affectent les horizons A et B.

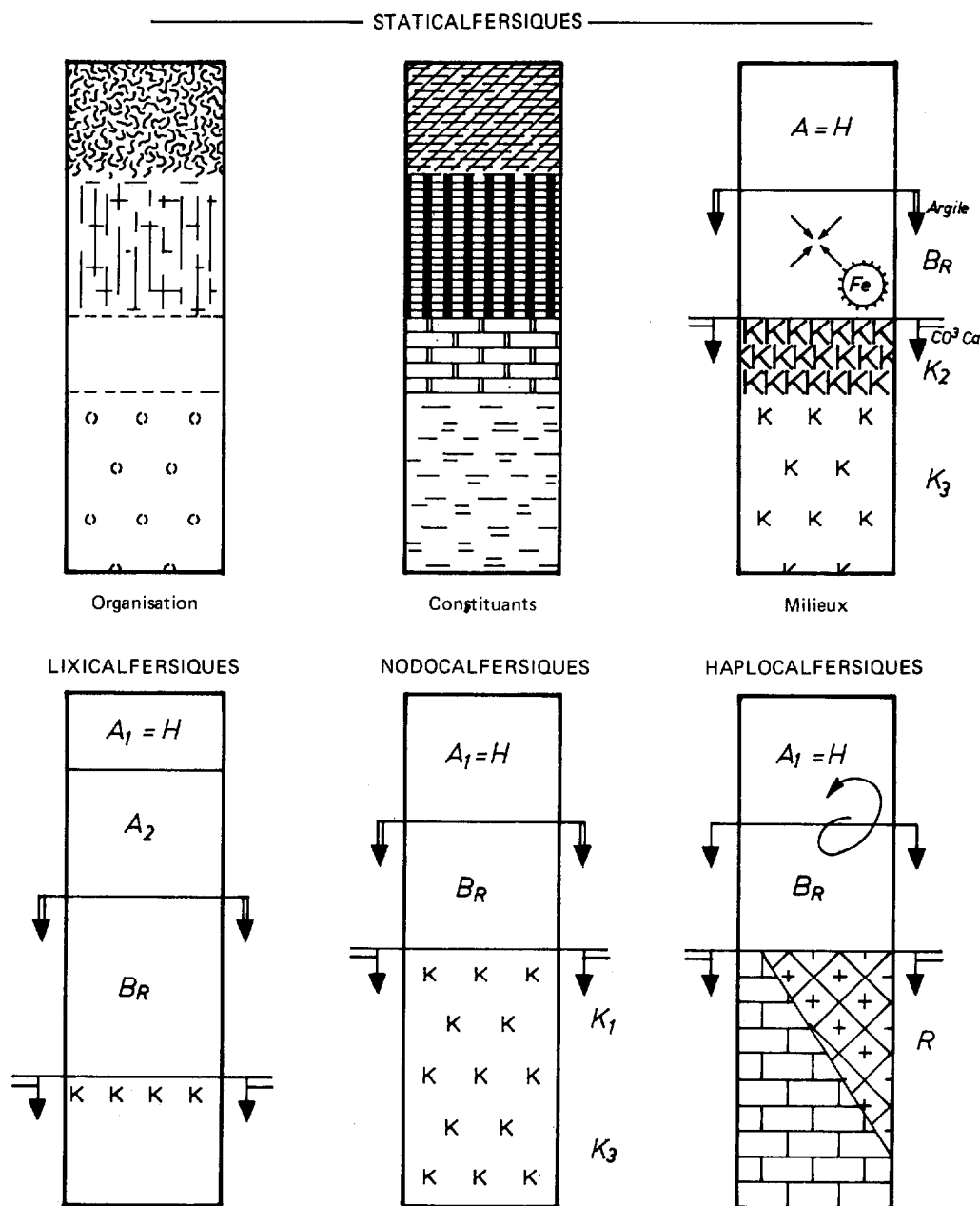


FIG. 9. — Fiche synthétique pour les Argicalferstiques (légende cf. cours 3^e année, J. Boulaine).

VI.1. SOUS-CLASSE DES SOLS ARGICALFERSIQUES

L'horizon $|B|$ chromique a des caractères accentués de structure et de couleur, il est souvent plus riche en argile que l'horizon A. Si $|B|$ est en surface (absence de A), il faut qu'il y ait un gradient d'argile de $|B|_1$ à $|B|_2$, ou $|B|_3$.

VI-11 - Groupe des sols Calfersiques non carbonatés ou argicalfersiques-hapliques

Définition

Sols Calfersiques sans horizon E (ou A_2) et sans horizon K. Souvent décrits comme sols rouges méditerranéens dans le passé. Parfois pédoturbés et tronqués par érosion, notamment dans le karst ; roche-mère soit calcaire, dolomitique, cristalline, acide, basaltique, etc.

(HAPLO signifie : simple - cf. Soil Taxonomy).

SOUS-GROUPES

- 111 - Sous-groupe des *Orthiques*
- 112 - Sous-groupe des *Glossiques*
- 113 - Sous-groupe des *à remplissage de fissure*
- 114 - Sous-groupe des *Ruptiques*

Faciès : vertique, hydromorphe, tirsifié, acide, calcarisé, rhodique, lutique, amphichromes, à remplissage de fissures, etc.

N.B. Si le profil textural est homogène, le sol est classé dans les Argicalfersiques si la teneur en argile est supérieure à 40 % ; sinon, on le place dans les cambicalfersiques.

VI-12 - Groupe des sols argicalfersiques carbonatés à encroûtement ou straticalfersiques

Le terme encroûtement implique l'accumulation carbonatée ; on peut donc dire plus simplement calfersique à encroûtement. Les caractères de cette sous-classe et de la suivante du point de vue de la classification, est qu'on peut y distinguer des éléments d'une séquence évolutive à la fois chronologique et climatique, et des faciès nombreux.

Définition

Les sols calfersiques encroûtés possèdent, outre les caractères communs de la classe, un horizon K_2 qui s'est formé dans le matériau primitif par un processus pédologique. Cet horizon K_2 peut être consolidé, structuré, recristallisé et présenter différentes formes d'encroûtements continus (K_2) ou de croûte zonaire, dalle, croûte rubannée, croûte nodulaire (K_{2m}). Il est souvent relayé vers le bas du pédon par un horizon K_3 d'amas pulvérulents carbonatés ou d'autres faciès d'accumulation discontinue.

Le terme strati indique que l'horizon carbonaté forme une couche continue. Il s'oppose à nodo qui signifie accumulation en volumes isolés dans une matrice.

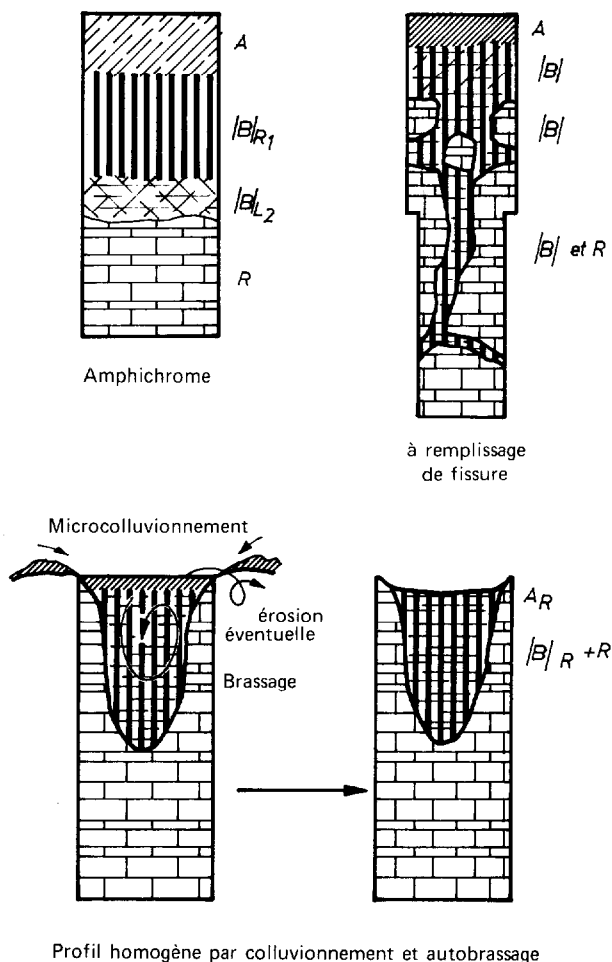


FIG. 10. — Sols Argicalfersiques hapliques.

PRINCIPAUX SOUS-GROUPES

- VI-121 Sols Argi-Calfersiques à encroûtement (statimeubles)
- VI-122 Sols Argi-Calfersiques à croûte zonaire
- VI-123 Sols Argi-Calfersiques à croûte nodulaire
- VI-124 Sols Argi-Calfersiques à dalle

Faciès : lutochrome, rhodochrome, amphichrome (?), à croûte rubannée, tirsifié, vertique, hydromorphe, à sous-sol à amas, à nodules, etc.

VI-13 - Groupe des sols Argi-Calfersiques carbonatés à nodons

Le terme à amas implique l'accumulation carbonatée ; on peut donc dire plus simplement Calfersiques à nodons.

PRINCIPAUX SOUS-GROUPES

- VI-131 Sols Argi-Calfersiques à amas pulvérulents
- VI-132 Sols Argi-Calfersiques à nodules et concrétions
- VI-133 Sols Argi-Calfersiques à racines carbonatées
- VI-134 Sols Argi-Calfersiques à réseau carbonaté

Même faciès que le groupe précédent.

VI-14 - Groupe des sols Calfersiques lixiviés

Définition

Sols Calfersiques possédant outre un $|B|_n$ ou $|B|_L$, un horizon E ou A_2 . Les horizons K sont facultatifs, mais peuvent exister. Les horizons A_1 et A_2 sont souvent acides avec une capacité d'échange faible.

Le matériau originel est souvent sableux, mais son altération peut fournir des argiles qui migrent en $|B|$. Il s'agit donc de sables contenant des minéraux altérables et donnant des argiles de transformation ou de néosynthèse.

Le toit de l'horizon $|B|$ doit être à 30 cm au moins de la surface du sol.

Végétation souvent acidophile (Chênes-liège et son cortège).

Climat relativement humide. 400 mm de précipitations étant une limite inférieure.

N.B. Il n'y a pas de lixivité cambique par définition.

VI.2. SOUS-CLASSE DES CALFERSIQUES CAMBIQUES OU CAMBICALFERSIQUES

VI-21 - Groupe des cambicalfersiques hapliques

SOUS-GROUPES

- VI-211 Sous-groupe des orthiques
- VI-212 Sous-groupe des glossiques

VI-213 Sous-groupe à remplissage de fissures

VI-214 Sous-groupe des ruptiques

VI-22 - Groupe des cambicalfersiques à horizon carbonaté

SOUS-GROUPES

- VI-221 Sols cambicalfersiques à encroûtement
- VI-222 Sols cambicalfersiques à croûte zonale
- VI-223 Sols cambicalfersiques à croûte nodulaire
- VI-224 Sols cambicalfersiques à dalle

Faciès : lutochrome, rhodochrome, amphichrome, tirsifié, hydromorphe, à horizon à amas, à nodules, etc.

VI-23 - Groupe des cambicalfersiques à nodons carbonatés

SOUS-GROUPES

- 231 - Sols cambicalfersiques à amas pulvérulents
- 232 - Sols cambicalfersiques à nodules et concrétions
- 233 - Sols cambicalfersiques à racines carbonatées
- 234 - Sols cambicalfersiques à réseau carbonaté

Même faciès que le groupe précédent.

Manuscrit reçu au Service de Publication de l'ORSTOM
le 27 octobre 1978

BIBLIOGRAPHIE

- BOULAIN (J.), 1957. — Les sols des plaines du Chélib. Thèse de doctorat. 586 pages. Publication du S.E.S. de la direction de l'Hydraulique et de l'Équipement Rural (Alger).
- BOULAIN (J.), 1975. — Géographie des sols. Collection S.U.P. - P.U.F., Paris.
- BRESSON (L.M.), 1974. — Rubéfaction récente des sols sous climat tempéré humide. Thèse de 3^e cycle. Paris VI et laboratoire de Pédologie I.N.A. Document offset. 190 p.
- BRESSON (L.M.), — Morphologie de la rubéfaction sous climat tempéré humide. Congrès de microscopie des sols.
- BRUIN (J.H.S.), 1970. — A correlation study of red and yellow soils in areas with a mediterranean climate. World Soil Resources reports, n° 39. F.A.O. 97 p. Rome.
- C.P.C.S., 1968. — Classification des sols. Document offset. E.N.S.A. de Grignon.
- DUCHAUFOUR (Ph.), 1977. — T. 1. Pédogenèse et classification. Masson. Paris.
- GAUSSEN (H.) et BAGNOULS (F.), 1953. — Saison sèche et indice xéothermique. Bul. S.H.N. Toulouse. p. 193.
- GILE (L.H.), PETERSON (F.F.), GROSMAN (R.B.), 1965. — The K horizon : a master soil horizon of carbonate accumulation. *Soil Science*. Vol. 99, n° 2 : 74-82.
- F.A.O., 1973. — FAO/UNESCO Soil Map of the World. The legend. FAO. Rome.
- GUERASSIMOV (I.P.), 1954. — Les sols marrons des régions méditerranéennes. Comm. V^e Congrès Sc. du Sol, Edit. Ac. Sc. U.R.S.S. Moscou.
- GLINKA (K.), 1914. — Die Typen der Boden bildung. Bo. Borntraeger. Berlin.
- LAMOUREUX (M.), 1972. — Etude des sols formés sur roches carbonatées. Pédogenèse fersiallitique au Liban. Mém. ORSTOM, n° 56, Paris.
- NGUYEN KHA, 1973. — Recherches sur l'évolution des sols à texture argileuse en conditions tempérées et tropicales. Thèse Université de Nancy, n° C.N.R.S. Ao.8033.
- REEVES (C.C.), 1976. — CALICHE. Estacado books. POB 4516 Lubbock. Texas USA.
- RUELLAN (A.), 1971. — Les sols à profil calcaire différencié des plaines de la basse Moulouya (Maroc oriental). Mém. ORSTOM, n° 54, Paris.
- SOIL TAXONOMY, 1975. — Soil Survey Staff. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture. Agricultural Handbook, n° 436.
- YAALON (D.H.), et GANOR (R.), 1973. — The influence of dust on soil during the Quaternary. *Soil Science*, vol. 116, n° 3.